



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**PENINGKATAN NILAI INDEKS STABILITAS TEGANGAN
PADA KONDISI KRITIS DENGAN MENGGUNAKAN
KAPASITOR SHUNT**

Widhianto Setyawan
NRP 2213105088

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Teguh Yuwono

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

INCREASE VALUE OF VOLTAGE STABILITY INDEX IN CRITICAL CONDITION USING SHUNT CAPACITOR

Widhianto Setyawan
NRP 2213105088

Supervisors
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Ir. Teguh Yuwono

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**PENINGKATAN NILAI INDEKS STABILITAS TEGANGAN
PADA KONDISI KRITIS DENGAN MENGGUNAKAN
KAPASITOR SHUNT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga

Jurusan Teknik Elektro

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D

NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Ir. Teguh Yuwono

NIP. 195008061976121002



ABSTRAK

Drop tegangan dapat terjadi pada sistem tenaga listrik dikarenakan hilangnya stabilitas tegangan pada sistem tenaga listrik saat kondisi beban kritis atau beban terberat dimana pada saat itu tegangan menerunu seketika sehingga menyebabkan terjadinya pemadaman atau *blackout* pada sistem. Pada penelitian ini akan dibahas tentang analisis kestabilan tegangan pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus dan sistem distribusi penyulang Mulyosari 68 bus pada PT. PLN API Surabaya Utara untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor sehingga dapat mengurangi *drop* tegangan sistem dan meningkatkan indeks kestabilan pada tiap bus. Simulasi yang dilakukan menggunakan *Voltage Stability Index* untuk mendapatkan nilai indeks pada tiap bus. Dengan demikian dapat ditentukan lokasi penempatan kapasitor untuk meningkatkan tegangan pada tiap bus dan mencegah terjadinya *voltage collapse* pada jaringan distribusi radial berdasarkan nilai indeks terendah.

Kata Kunci : Kestabilan Tegangan, Jaringan Distribusi Radial, Kapasitor Shunt, Kondisi Beban Kritis, *Drop* Tegangan, *Voltage Stability Index*

ABSTRAK

Drop tegangan dapat terjadi pada sistem tenaga listrik dikarenakan hilangnya stabilitas tegangan pada sistem tenaga listrik saat kondisi beban kritis atau beban terberat dimana pada saat itu tegangan menerunu seketika sehingga menyebabkan terjadinya pemadaman atau *blackout* pada sistem. Pada penelitian ini akan dibahas tentang analisis kestabilan tegangan pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan sistem distribusi IEEE 33 bus dan sistem distribusi penyulang Mulyosari 68 bus pada PT. PLN APJ Surabaya Utara untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor sehingga dapat mengurangi *drop* tegangan sistem dan meningkatkan indeks kestabilan pada tiap bus. Simulasi yang dilakukan menggunakan *Voltage Stability Index* untuk mendapatkan nilai indeks pada tiap bus. Dengan demikian dapat ditentukan lokasi penempatan kapasitor untuk meningkatkan tegangan pada tiap bus dan mencegah terjadinya *voltage collapse* pada jaringan distribusi radial berdasarkan nilai indeks terendah.

Kata Kunci : Kestabilan Tegangan, Jaringan Distribusi Radial, Kapasitor Shunt, Kondisi Beban Kritis, *Drop* Tegangan, *Voltage Stability Index*

ABSTRACT

Voltage drop can occur in the power system due to loss of voltage stability of the power system when the critical load conditions or the heaviest burden during which the voltage decreases immediately thus causing the outage or blackout on the system. In this research will be discussed on the analysis of voltage stability in radial distribution networks using IEEE 33 bus distribution system and distribution system Mulyosari 68 feeder buses in PT. PLN APJ North Surabaya to determine where to place the capacitor so as to reduce the voltage drop across the system and increase the stability index on each bus. Simulations were performed using the Voltage Stability Index to get the index value on each bus. Thus it can be determined where to place the capacitor to increase the voltage on each bus and prevent voltage collapse on radial distribution network based on the lowest index value.

Keyword : *Voltage Stability, Radial Distribution Network, Shunt Capacitor, Critical Loading Conditions, Voltage Collapse, Voltage Stability Index*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **"Peningkatan Nilai Indeks Stabilitas Tegangan pada Kondisi Kritis Dengan Menggunakan Kapasitor Shunt"**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan kasih sayang, ridho, petunjuk, rahmat karunia-Nya.
2. Bapak Budi, Ibu Kisti selaku orang tua penulis, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan studi dan Anggi yang tiap saat memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Ir. Teguh Yuwono. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, petunjuk dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT. yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama penyelesaian Tugas Akhir.
5. Teman-teman seperjuangan Risqi, Novian, Indro, Samsu, Alfian. Serta keluarga besar Power LJ Galat 2013.
6. Keluarga Besar Lab. B103 Kharismawan, Khakim, Surya, Yaqin, Ayla dan Nani.
7. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2015
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika	3
1.7 Relevansi	4

BAB II STUDI ALIRAN DAYA DAN KESTABILAN TEGANGAN

2.1 Sistem Distribusi	5
2.1.1. Sistem Distribusi Radial	6
2.1.2. Sistem Distribusi Mesh.....	7
2.1.3. Sistem Distribusi Spindel.....	8
2.1.4. Sistem Distribusi Ring.....	9
2.2 Studi Aliran Daya.....	9
2.2.1. Daya Listrik	10
2.2.2. Persamaan Aliran Daya	11
2.3 Definisi Kestabilan Tegangan	13
2.3.1. Analisa pada Stabilitas Tegangan	14
2.3.2. Analisa Kestabilan Tegangan dengan Kurva P-V.....	15
2.3.3. Analisa Kestabilan Tegangan berdasarkan VSI (<i>Voltage Stability Index</i>) pada Jaringan Distribusi Satu Fasa.....	16
2.3 Kapasitor Shunt	18

BAB III PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

3.1 Pengumpulan Data	20
3.2 Analisis Aliran Daya	27
3.2.1. Metode K-Matrik.....	27
3.3 <i>Voltage Stability Index</i> (VSI)	30
3.4 Penempatan Kapasitor	31
3.5 Ukuran Kapasitor.....	31

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA DATA

4.1 Hasil Simulasi	33
4.1.1 Sistem IEEE 33 bus	33
4.1.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus	40
4.2 Analisis Aliran Daya	51
4.2.1 Sistem IEEE 33 bus	52
4.2.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus	53

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data IEEE 33 Bus	22
Tabel 3.2 Data Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN APJ Surabaya Utara	25
Tabel 4.1 Hasil <i>Load Flow</i> Data IEEE 33 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor	34
Tabel 4.2 Hasil <i>Load Flow</i> Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18	36
Tabel 4.3 Hasil <i>Load Flow</i> Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan Bus 33	38
Tabel 4.4 Nilai Kapasitor Bus 18 dan 33 pada Sistem.....	40
Tabel 4.5 Hasil <i>Load Flow</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor	41
Tabel 4.6 Hasil <i>Load Flow</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63	44
Tabel 4.7 Hasil <i>Load Flow</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68	48
Tabel 4.8 Nilai Kapasitor Bus 63 dan 68 pada Sistem.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Penyaluran Daya Listrik.....	5
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial	7
Gambar 2.3 Sistem Distribusi Mesh	8
Gambar 2.4 Jaringan Spindel	8
Gambar 2.5 Sistem Distribusi Ring	9
Gambar 2.6 Segitiga Daya	11
Gambar 2.7 Penggambaran Bus Secara Umum pada Sistem Tenaga Listrik	12
Gambar 2.8 Karakteristik dan Bentuk Kurva P-V	15
Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen dari Jaringan Dua Bus	16
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Sistem	20
Gambar 3.2 Sistem IEEE 33 Bus	21
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN API Surabaya Utara	24
Gambar 3.4 Contoh <i>Single Line Diagram</i> dalam Pembentukan Nilai K-Matrik	28
Gambar 4.1 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor	35
Gambar 4.2 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18	37
Gambar 4.3 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan Bus 33	40
Gambar 4.4 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor	44
Gambar 4.5 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63	47
Gambar 4.6 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68	51
Gambar 4.7 Perbandingan <i>Stability Index</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE	52
Gambar 4.8 Perbandingan <i>Voltage System</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE	53

Gambar 4.9 Perbandingan <i>Stability Index</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyulang Mulyosari 68 Bus	54
Gambar 4.10 Perbandingan <i>Voltage System</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyulang Mulyosari 68 Bus.....	55

BIOGRAFI PENULIS



Widhianto Setyawan dan biasa dipanggil Ivan lahir di Mojokerto pada tanggal 07 Agustus 1992. Penulis memulai jenjang pendidikannya di SDN Purwotengah II Mojokerto hingga lulus tahun 2004. Setelah itu penulis melanjutkan studinya di SMP Negeri 2 Mojokerto. Tahun 2007, penulis diterima sebagai murid SMA Negeri 1 Puri Mojokerto hingga lulus tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro Program Studi Computer Control, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tahun 2012 pernah Kerja Praktek di PT. Telkom Indonesia (Persero) di bagian Network and Maintenance, Surabaya, Jawa Timur. Dan saat ini penulis sedang menyelesaikan studi Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya lewat program Lintas Jalur dengan NRP 2213105088 dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Pada tahun 2014 penulis pernah Kerja Praktek di PT. Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Juanda di bagian Electrical Engineering, Surabaya, Jawa Timur. Praktikan hobi jalan-jalan atau travelling dan bermain dota dan jika ada keperluan bisa menghubungi di email widi.ants@gmail.com



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem jaringan distribusi radial penting dalam sistem tenaga listrik dikarenakan sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan listrik ke beban (pelanggan). Semakin banyaknya beban pada jaringan distribusi maka semakin banyak permintaan daya yang di butuhkan sehingga hal ini dapat menyebabkan pemadaman jika pada sisi pembangkit tidak dapat memenuhinya. *Drop* tegangan dapat terjadi pada sistem tenaga listrik dikarenakan hilangnya stabilitas tegangan pada jaringan distribusi radial. Dengan menggunakan analisa stabilitas tegangan yaitu dengan studi aliran daya (*Load flow*) maka dapat mengetahui *drop* tegangan yang besar pada jaringan distribusi sehingga terhindar dari *black out* atau pemadaman pada sistem jaringan distribusi.

Tugas akhir ini di buat dengan menganalisa tegangan tiap bus pada jaringan distribusi dengan kondisi beban kritis dengan menggunakan data *33-bus IEEE* dan data penyulang Mulyosari 68 bus PT. PLN API Surabaya Utara. Untuk mengetahui nilai indeks stabilitas tegangan pada tiap bus di gunakan analisa stabilitas tegangan dengan metode *Voltage Stability Index (VSI)*. Metode ini di gunakan untuk mengetahui nilai indeks tegangan yang terendah pada tiap bus atau pada bus yang kritis. Dengan mengetahui nilai indeks yang terendah maka dapat di tentukan penempatan lokasi pemasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks stabilitas tegangan. Nilai indeks terendah merupakan nilai dimana bus tersebut paling tidak stabil dalam suatu sistem jaringan distribusi radial.

1.2 Perumusan Masalah

Pada perumusan masalah yang akan di bahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana mendapatkan nilai *drop* tegangan dengan menggunakan analisa aliran daya (*load flow*) dan menganalisa kestabilan tegangan dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
2. Bagaimana menentukan lokasi penempatan kapasitor berdasarkan indeks tegangan dari metode *Voltage Stability Index (VSI)*

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi dengan asumsi sebagai berikut :

1. Analisa *load flow* sebelum dan sesudah penempatan kapasitor.
2. Metode yang digunakan adalah *Voltage Stability Index (VSI)* untuk menentukan lokasi pemasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks terendah.
3. Analisa *load flow* menggunakan Matlab R2007b
4. Meningkatkan tegangan pada sistem dengan penempatan kapasitor yang efektif

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Menghitung analisa aliran daya satu fasa pada sistem jaringan distribusi radial.
2. Mengetahui nilai tegangan tiap bus pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
3. Mendapatkan nilai indeks tegangan dari bus terlemah berdasarkan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
4. Mengetahui lokasi penempatan kapasitor untuk jaringan distribusi radial sehingga dapat meningkatkan level tegangan pada sistem.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literature
Melakukan pengumpulan data dari berbagai buku literatur, buku tugas akhir, artikel-artikel yang berkaitan, dan jurnal dari IEEE. Untuk mengetahui analisis studi aliran daya pada sistem distribusi radial, dan mengetahui metode yang di gunakan pada penelitian tugas akhir ini dalam sistem tenaga listrik.
2. Pengambilan data
Data yang diambil untuk Tugas Akhir ini berupa data bus jaringan distribusi radial satu fasa, data tersebut diambil dari IEEE dan data penyulang Mulyosari 68 bus satu fasa dari PT. PLN APJ Surabaya Utara yang digunakan sebagai data awal dalam simulasi sebelum adanya penempatan kapasitor.
3. Permodelan sistem dan simulasi program

Membuat permodelan untuk sistem jaringan distribusi radial satu fasa. Melakukan simulasi studi aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan *Software* MATLAB R2007b. Dari hasil simulasi maka akan di dapatkan parameter tegangan dan arus pada tiap bus sehingga parameter tersebut akan digunakan dalam menghitung *Voltage Stability Index (VSI)* dan setelah itu akan di dapatkan nilai indeks stabilitas tegangan pada tiap bus. Berdasarkan nilai indeks stabilitas tegangan maka dapat di tentukan untuk lokasi penempatan pemasangan kapasitor guna meningkatkan level tegangan pada sistem jaringan distribusi radial berdasarkan nilai indeks tegangan terendah yang menandakan bahwa bus tersebut tidak stabil.

4. Penulisan laporan Tugas Akhir
Sebagai hasil akhir dari penelitian maka dilakukan penulisan laporan dalam bentuk buku Tugas Akhir dan pengambilan kesimpulan dari hasil tugas akhir yang dapat di gunakan sebagai referensi untuk tugas akhir berikutnya.

1.6 Sistematika

Sistematika dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat di bagi menjadi 5 bagian antara lain sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi.

BAB II : TEORI PENUNJANG

Bab ini secara garis besar membahas tentang sistem distribusi tenaga listrik, jaringan distribusi radial, analisa aliran daya dalam sistem distribusi radial, analisa stabilitas tegangan dengan *voltage stability index* untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor pada sistem distribusi satu fasa 33-bus dan 68 bus

BAB III : PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

Bab ini berisikan tentang rancangan suatu sistem distribusi satu fasa (33 bus dan 68 bus) dan rancangan program analisa aliran daya (*load flow*) yang menggunakan metode *forward-backward* serta *voltage*

stability index untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor.

BAB IV : SIMULASI DAN ANALISA DATA

Pada bab ini berisi tentang hasil dari simulasi *load flow single phase* dan program *voltage stability index* untuk menentukan lokasi penempatan pemasangan kapasitor.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa data dan simulasi program *voltage stability index* untuk penentuan lokasi penempatan pemasangan kapasitor.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dalam penulisan tugas akhir ini di harapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan acuan kemampuan stabilitas tegangan pada tiap bus dari sistem jaringan distribusi radial satu fasa 33 bus dan 68 bus penyulang Mulyosari PT. PLN APJ Surabaya Utara
2. Dapat menjadi acuan untuk pemasangan lokasi kapasitor pada bus yang memiliki nilai indeks tegangan terendah berdasarkan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
3. Dapat menjadi referensi dasar untuk pengembangan metode *Voltage Stability Index (VSI)* yang lebih baik dan handal.

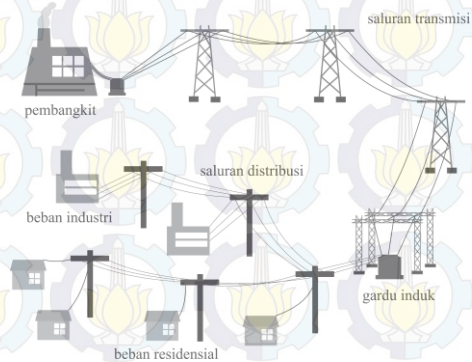
BAB II

STUDI ALIRAN DAYA DAN KESTABILAN TEGANGAN

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik secara umum dapat di artikan proses penyaluran energi listrik dari sumber pembangkit tenaga listrik (*power station*) ke konsumen atau pelanggan. Proses penyaluran energi listrik ini diawali dengan pusat pembangkit yang menghasilkan energi listrik dengan tegangan dari 11kV sampai 24kV dan kemudian di salurkan ke jaringan transmisi yang di naikan tegangannya oleh gardu induk dengan menggunakan *transformator* penaik tegangan (*trafo step-up*) menjadi 70kV, 154kV, 220kV, 500kV. Tujuan dari menaikkan tegangan agar kerugian saat transmisi energi listrik dapat di kurangi sehingga memperkecil kerugian daya listrik pada saat proses penyaluran listrik.

Kemudian dari saluran transmisi, tegangan diturunkan dengan menggunakan *transformator* penurun tegangan pada gardu induk distribusi menjadi 150kV, 70kV kemudian diturunkan kembali menjadi 20kV. Penyaluran ini akan dilakukan oleh saluran distribusi primer yang nantinya pada gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk di turunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 Volt dan kemudian sistem distribusi sekunder siap untuk menyalurkan kepada konsumen (pelanggan). Untuk proses penyaluran daya listrik dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses Penyaluran Daya Listrik

Hal hal yang harus diperhatikan dalam menyalurkan tenaga listrik sampai ke pelanggan adalah sebagai berikut :

1) Regulasi tegangan

Variasi tegangan pelayanan (tegangan terminal konsumen) harus pada batas-batas yang diijinkan, maksimum 5 % dan minimum 5 %.

2) Kontinuitas pelayanan dan pengamanan

Tidak sering terjadinya pemadaman energi listrik yang dapat merugikan pelanggan dan jika terjadi gangguan harus dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Hal tersebut dapat tercapai apabila memiliki konfigurasi sistem dan sistem pengamanan yang baik.

3) Efisiensi sistem distribusi energi listrik

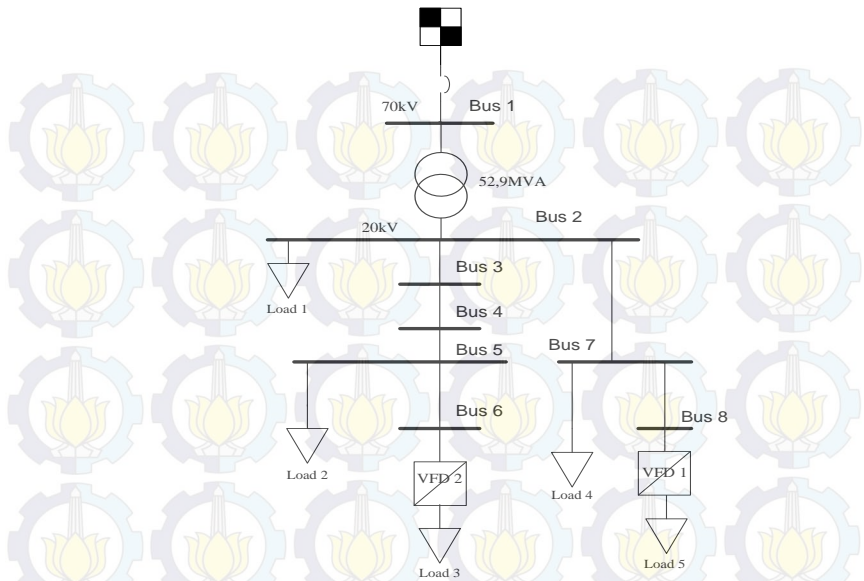
Menekan serendah mungkin rugi-rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasian yang lebih baik dan juga menekan rugi rugi non teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan dalam pengukuran.

4) Fleksibilitas terhadap penambahan beban

Untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber sampai ke pusat beban digunakan jarring tegangan menengah 20 KV.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem distribusi ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang di pasang gardu-gardu distribusi untuk di salurkan ke konsumen. Gardu distribusi ini adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Keuntungan dari sistem distribusi radial ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibandingkan dengan sistem yang lainnya. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan maka seluruh sistem akan ikut padam. Berikut ini adalah contoh dari jaringan distribusi radial.



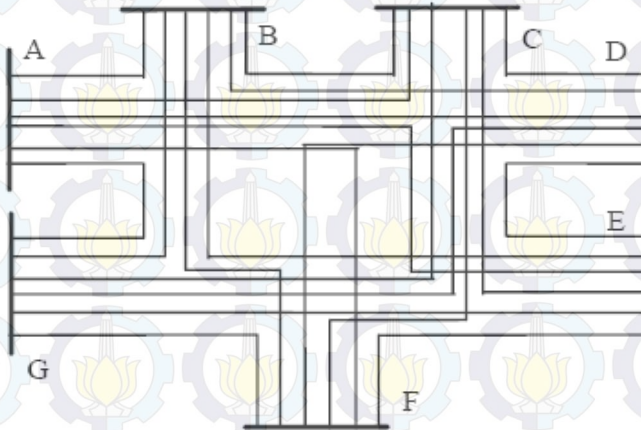
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

Gambar 2.2 adalah *Single Line Diagram* (SLD) dari sistem distribusi radial. Kerugian dari sistem distribusi radial yang lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada pada ujung saluran sistem. Semakin besar beban pada tiap bus maka semakin besar pula tegangan jatuh yang dihasilkan[1].

2.1.2 Sistem Distribusi Mesh

Jaringan distribusi mesh adalah jaringan distribusi yang mengkombinasikan jaringan radial dan ring, sistem ini lebih baik dari sistem-sistem yang lain dan sistem ini digunakan jika daerah yang akan dilayani memiliki tingkat kepadatan konsumen yang sangat tinggi. Sistem penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan sistem distribusi Mesh dilakukan secara terus-menerus dengan dua atau lebih feeder pada gardu-gardu induk dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini juga memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem yang lainnya dan jumlah cabang yang

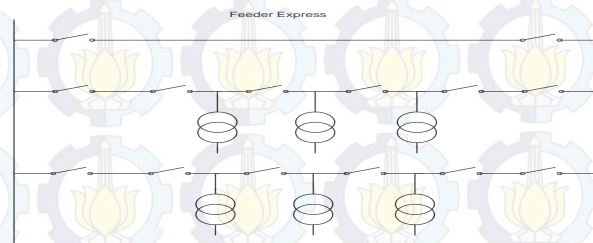
lebih banyak dari jumlah titik pada *feeder*. Karena merupakan gabungan, sistem ini memerlukan biaya investasi maupun perawatan yang tinggi. Selain biaya yang tinggi tingkat koordinasi alat pengaman juga sulit. Gambar dari jaringan distribusi mesh ditunjukkan oleh Gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 Sistem Distribusi Mesh

2.1.3 Jaringan Distribusi Spindel[2]

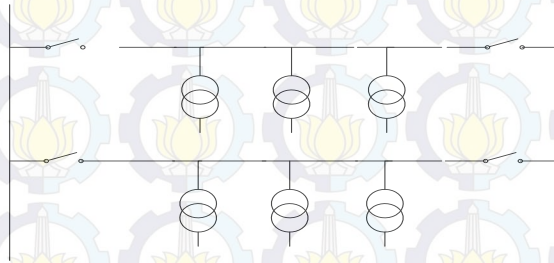
Dalam keadaan normal semua Pemutus (PMT) dan Pemisah (PMS) dari setiap *feeder* yang keluar dari GI dalam keadaan masuk kecuali PMT dan PMS *feeder* yang ada di Gardu Hubung (GH). Hanya PMT dan PMS dari *express feeder* di GH yang dalam keadaan masuk. Gambar dari jaringan distribusi spindel terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Jaringan Spindel

2.1.4 Sistem Distribusi Ring

Jaringan distribusi ring merupakan bentuk jaringan distribusi yang tertutup, susunan penyulang berbentuk cincin yang memungkinkan beban dilayani oleh dua sumber atau lebih. Dengan disuplai dari dua atau lebih sumber maka sistem ini dapat menjaga kelangsungan pelayanan jika terdapat gangguan pada sumber. tetapi jika beban yang akan dilayani bertambah kapasitas pelayanan akan menjadi jelek. Jaringan distribusi ring ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Sistem Distribusi Ring

2.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi untuk menganalisa suatu sistem tenaga listrik bertujuan untuk menentukan besar dan sudut fase tegangan pada masing-masing bus. Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, faktor daya dan daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan sistem tenaga listrik pada keadaan pengoperasian normal.

Studi analisis aliran daya dapat dihitung secara manual maupun menggunakan *software computer*. Studi aliran daya ini dapat didefinisikan sebagai suatu studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya yang baik dalam bentuk tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif yang terdapat dalam suatu sistem kelistrikan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik maupun menganalisa kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Dengan menggunakan studi aliran daya maka didapatkan parameter-parameter untuk melakukan proses pemrograman selanjutnya.

Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah:

1. Untuk memeriksa tegangan dan sudut fasa masing-masing bus.

2. Untuk mengetahui besarnya tegangan pada tiap bus
3. Untuk menghitung aliran daya yang terdiri dari daya aktif, daya reaktif dan sudut fase

Terdapat 3 macam bus yang terdiri dari bagian-bagian tertentu, meliputi :

1. *Bus referensi (slack bus atau swing bus)*
Slack bus atau *swing bus* adalah bus yang digunakan sebagai referensi pada sistem dengan besar dan sudut fase yang tetap. Bus ini menambah kekurangan daya antara beban total dengan daya yang dibangkitkan yang disebabkan oleh rugi-rugi pada jaringan.
2. *Load bus (bus beban) atau P-Q bus*
Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif besarnya tetap. Besar dan sudut fase tegangan nilainya tidak di ketahui.
3. *Generator bus (Q-V bus)*
Pada bus ini daya aktif dan besar tegangannya tetap. Sedangkan sudut fase dan besar daya reaktif dihitung, besar batasan daya reaktif juga ditentukan sebelumnya.

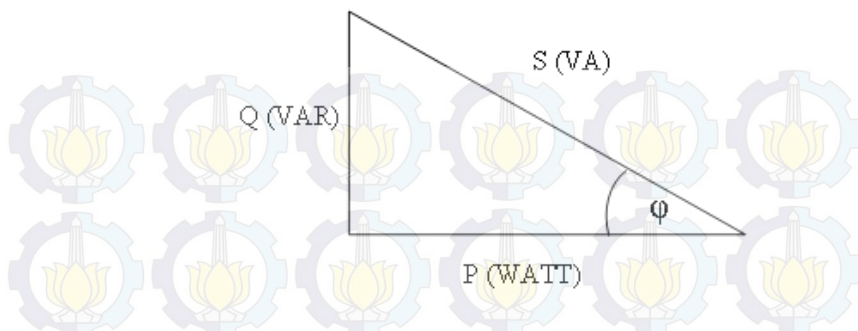
2.2.1 Daya listrik

Daya listrik dapat dibagi menjadi daya 3 jenis yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya total

Daya aktif adalah daya yang dihasilkan dari energi yang nyata dan digunakan untuk melakukan energi yang nyata pula. Pada prinsipnya daya aktif dibangkitkan dari proses konversi energi primer seperti energi panas, energi mekanik, ataupun energi potensial. Daya aktif disimbolkan dengan “P” dan dinyatakan dalam satuan Watt.

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet. Pada prinsipnya daya reaktif dihasilkan dari pembangkitan medan listrik pada generator sinkron melalui sistem eksitasinya. Daya reaktif disimbolkan dengan “Q” dan dinyatakan dalam satuan VAR. Daya total adalah daya yang dihasilkan dari perkalian antara arus dan tegangan, disimbolkan dengan “S” dan dinyatakan dalam satuan VA.

Dalam mendefinisikan hubungan antara tiga daya tersebut, digunakan teori segitiga daya.



Gambar 2.6 Segitiga daya

Dari gambar segitiga daya di atas dapat disimpulkan hubungan antara ketiganya sebagai berikut :

$$S = V \times I$$

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi$$

$\cos \varphi$ merupakan sudut yang merepresentasikan hubungan antara ketiga daya tersebut. Dalam sistem tenaga listrik, $\cos \varphi$ merupakan parameter penting yang biasa disebut dengan faktor daya. $\cos \varphi$ juga menunjukkan adanya perbedaan sudut antara gelombang tegangan dan gelombang arus dalam fungsi waktu. Apabila suatu beban memiliki karakteristis gelombang arus yang tertinggal maka beban tersebut memiliki nilai $\cos \varphi$ negatif atau disebut dengan *lagging*. Namun, apabila suatu beban memiliki karakteristik gelombang arus yang mendahului gelombang tegangan maka beban tersebut memiliki nilai $\cos \varphi$ positif atau disebut dengan *leading*.

2.2.2 Persamaan Aliran Daya

Berdasarkan hukum *Kirchhoff* arus, hubungan antara besar tegangan bus dan arus dinyatakan dalam persamaan titik tegangan .

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.1)$$

Persamaan diatas jika dinyatakan ke dalam bentuk matriks admitansi, maka dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

n = jumlah total titik

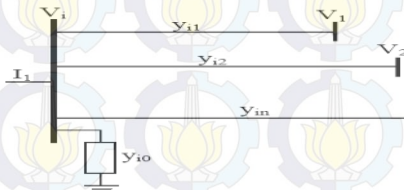
Y_{11} = admitansi sendiri dari titik i

Y_{21} = mutual admitansi dari titik i dan j

V_i = tegangan fasor pada titik i

I_i = arus fasor yang mengalir ke titik i

Penggambaran bus secara umum pada suatu jaringan sistem tenaga listrik diberikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penggambaran Bus Secara Umum pada Sistem Tenaga Listrik

Penerapan hukum *Kirchhoff* arus pada sistem tersebut menghasilkan

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \end{aligned} \quad (2.3)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.4)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.6)$$

Substitusi nilai I_i pada 2.2 menghasilkan

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.7)$$

Persamaan aliran daya tersebut diselesaikan dengan menggunakan suatu proses ulangan (metode iterasi) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan bus yang tidak diketahui dan menghitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari nilai-nilai perkiraan pada bus-bus yang lain, daya nyata dan daya reaktif yang ditentukan atau besarnya tegangan sehingga diperoleh suatu himpunan baru untuk nilai tegangan setiap bus dan digunakan kembali untuk menghitung himpunan tegangan bus yang baru. Setiap perhitungan suatu himpunan tegangan yang baru tersebut dinamakan iterasi. Proses iterasi ini diulang terus-menerus hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari suatu nilai minimum yang telah ditentukan.

Beberapa penelitian dan pengembangan pemodelan matematis saluran distribusi dikenal beberapa metode analisis aliran daya pada saluran distribusi. Salah satu metode yang banyak digunakan dan dikembangkan adalah metode *network topology*. Metode *network topology* merupakan metode analisis aliran daya dengan menggunakan prinsip hukum Kirchoff. Metode *network topology* digunakan untuk menghitung nilai tegangan pada sistem jaringan distribusi radial dengan cara menghitung besar arus yang mengalir pada cabang dimulai dari beban terujung hingga menuju *infinite bus*. Kemudian arus yang mengalir di tiap cabang dikalikan dengan impedansi saluran untuk mendapatkan besar drop tegangan. Dengan melakukan perhitungan drop tegangan pada tiap saluran dan cabang sistem distribusi radial tersebut, tegangan pada tiap bus transformator distribusi dapat diketahui.

2.3 Definisi Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan level tegangan pada

semua cabang (*node*) dalam kondisi normal setelah sistem mengalami kondisi gangguan[3]. Sistem dikatakan tidak stabil saat terjadi gangguan maupun penambahan beban sehingga dapat menyebabkan drop tegangan di bus pada sistem karena kurangnya suplai daya reaktif dari sisi pembangkit. Gangguan tersebut bisa dibagi menjadi dua yaitu :

1. Gangguan kecil, merupakan gangguan yang bersifat linear, sifatnya acak (*random*), dan berupa perubahan beban maupun pembangkit.
2. Gangguan besar, merupakan gangguan yang berupa kejutan tegangan pada masing-masing bus diakibatkan gangguan yang besar sehingga harus segera dilakukan tindakan untuk menghilangkan gangguan tersebut yang bersifat kritis.

Tegangan jatuh (*voltage collapse*) diakibatkan adanya kenaikan beban yang sangat besar pada sistem tenaga listrik sehingga tegangan pada masing-masing bus menjadi turun. Keadaan ini muncul dalam peristiwa yang berurutan yang secara bersamaan dengan ketidakstabilan tegangan yang dapat menyebabkan pemadaman (*blackout*) pada sistem tenaga listrik. Hal ini dapat diminimalkan dengan melakukan pengontrolan dengan menggunakan perangkat kapasitor bank dan pembatasan beban.

2.3.1 Analisa pada Stabilitas Tegangan

Metode yang digunakan untuk melakukan analisa stabilitas tegangan adalah metode yang berdasarkan analisa dinamik dan analisa statis.

1. Analisa Dinamik

Simulasi yang terdiri dari serangkaian persamaan diferensial dan aljabar pada permodelan sistem tenaga listrik [3]. Kondisi ini sama dengan kondisi transien, simulasi yang digunakan sangat membutuhkan banyak waktu dan hasil yang didapatkan tidak dapat memberikan solusi tentang tingkat kestabilan.

2. Analisa Statis

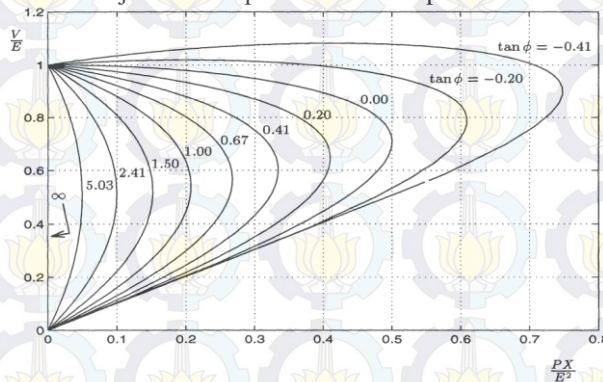
Simulasi yang terdiri dari serangkaian persamaan aljabar yang mewakili sistem dalam kondisi stabil atau kondisi *steady state* [3], yang bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan titik *equilibrium* yang diwakili dengan kondisi sistem pengoperasian untuk menentukan nilai tegangan yang kritis dari sistem tersebut. Keuntungan dari analisa statis adalah

memberikan sebuah informasi tentang identifikasi dari factor pada permasalahan ketidakstabilan. Dengan menggambar kurva P-V dan menentukan nilai dari indeks kestabilan tegangan pada masing-masing bus dapat membantu untuk menganalisa batas dari kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik. Pada sebuah tahap dengan melakukan penambahan beban dengan adanya gangguan.

2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan dengan Kurva P-V

Pada analisa kestabilan tegangan tidak terlepas dari kurva daya dimana kurva P-V merupakan kurva yang menunjukkan perbandingan serta kinerja dari sistem dalam memberikan daya ke beban maupun level tegangan masing-masing bus pada sistem. Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik dari kurva P-V dalam keadaan normal. Daya maksimum terjadi pada saluran ketika magnitude impedansi beban sama dengan magnitude pada impedansi sumber. Pada saat impedansi beban lebih tinggi maka akan terjadi kenaikan tegangan dan kenaikan arus pada sistem tersebut.

Analisa kestabilan berdasarkan kurva P-V adalah analisa transfer daya aktif pada sistem dan dari analisa tersebut dapat diketahui nilai besar pembebanan yang harus di berikan ke beban. Kurva P-V memiliki titik kritis pembebanan (*critical point*), dimana sistem akan bekerja maksimal menyentuh titik kritis jika berada pada maksimum pembebanan.



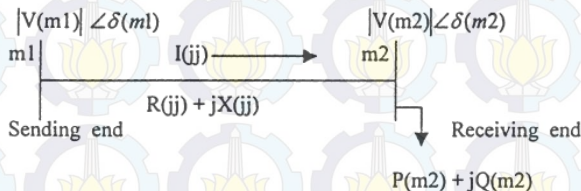
Gambar 2.8 Karakteristik dan Bentuk Kurva P-V

Penentuan titik kritis ketika terjadi kenaikan beban sangatlah penting dikarenakan dapat menyebabkan tegangan jatuh (*voltage collapse*) pada sistem tenaga listrik.

2.3.3 Analisa Kestabilan Tegangan berdasarkan VSI (*Voltage Stability Index*) pada Jaringan Distribusi Satu Fasa

Analisis pada jaringan distribusi satu fasa berdasarkan penambahan beban aktif akan mempengaruhi nilai dari level tegangan yang mendekati nilai titik kritis (*critical point*). Nilai titik kritis ini terjadi dimana semakin tinggi daya beban pada sistem maka semakin tinggi pula tegangan kritisnya. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan titik kritis pada tiap bus dengan mengetahui nilai indeks stabilitas tegangan dengan menggunakan VSI (*Voltage Stability Indeks*).

Dengan menggunakan VSI (*Voltage Stability Indeks*) dapat mengidentifikasi bus yang terlemah pada jaringan distribusi satu fasa. Untuk menghitung nilai dari VSI pada jaringan distribusi satu fasa maka dapat dihitung berdasarkan studi aliran daya dengan menggunakan metode *network topology*. Pada gambar 2.9 akan dijelaskan rangkaian ekuivalen dari jaringan dua bus seimbang.



Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen dari Jaringan Dua Bus

Dari gambar 2.9 maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$I(jj) = \frac{V(m1) - V(m2)}{r(jj) + jx(jj)} \quad (2.8)$$

Dimana $I(jj)$ adalah arus pada cabang, $V(m1)$ dan $V(m2)$ adalah tegangan pada bus dari sisi pengirim dan sisi penerima. Sedangkan $r(jj) + jx(jj)$ adalah nilai dari impedansi. Sehingga nilai daya S pada bus penerima dapat di rumuskan sesuai dengan persamaan (2.9).

$$P(m2) + jQ(m2) = V * (m2)I(jj) \quad (2.9)$$

Dimana $P(m2)$ adalah total daya aktif pada bus dan $Q(m2)$ adalah total daya reaktif pada bus. Dari persamaan (2.8) dan (2.9) maka didapatkan :

$$|V(m2)|^4 - \{|V(m1)|^2 - 2P(m2)r(jj) - 2Q(m2)x(jj)\}|V(m2)|^2 + \{P^2(m2) + Q^2(m2)\{r^2(jj) + x^2(jj)\} = 0 \quad (2.10)$$

Maka dari persamaan (2.10) dapat disederhanakan dan diasumsikan menjadi variabel berikut.

$$b(jj) = |V(m1)|^2 - 2P(m2)r(jj) - 2Q(m2)x(jj) \quad (2.11)$$

$$c(jj) = \{P^2(m2) + Q^2(m2)\{r^2(jj) + x^2(jj)\} \quad (2.12)$$

Dari data yang ada, untuk P, Q, r, x, V di jadikan satuan per unit (p.u). untuk nilai $b(jj)$ harus selalu positif. Maka dari persamaan diatas dapat menentukan nilai rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada tiap bus dengan persamaan (2.13)

$$LP(jj) = \frac{r(jj)\{P^2(m2) + Q^2(m2)\}}{|V(m2)|^2}$$

$$LQ(jj) = \frac{x(jj)\{P^2(m2) + Q^2(m2)\}}{|V(m2)|^2} \quad (2.13)$$

$$b^2(jj) - 4.0c(jj) \geq 0 \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.11), (2.12) dan (2.14) maka didapatkan persamaan untuk mendapatkan nilai VSI (*Voltage Stability Index*) sebagai berikut :

$$|V(m1)|^2 - 2P(m2)r(jj) - 2Q(m2)x(jj)^2 - 4.0\{P^2(m2) + Q^2(m2)\{r^2(jj) + x^2(jj)\} \geq 0$$

Setelah disederhanakan maka didapatkan :

$$|V(m1)|^4 - 4.0P(m2)x(jj) - Q(m2)r(jj)^2 - 4.0\{P(m2)r(jj) + Q(m2)x(jj)\}|V(m1)|^2 \geq 0 \quad (2.15)$$

Sehingga untuk merumuskan nilai dari *Voltage Stability Index* (VSI) didapatkan persamaan berikut :

$$SI(m2) = \{|V(m1)|^4 - 4.0P(m2)x(jj) - Q(m2)r(jj)^2 - 4.0\{P(m2)r(jj) + Q(m2)x(jj)\}|V(m1)|^2 \quad (2.16)$$

Dimana $SI(m2)$ adalah *Voltage Stability Index* (VSI) pada bus penerima (bus-2) dengan $m2 = 2,3,4 \dots$ dst

Untuk nilai *Voltage Stability Index* harus ≥ 0

2.4 Kapasitor Shunt

Kapasitor Shunt merupakan kapasitor yang dihubungkan secara parallel dan digunakan untuk kompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan. Pemasangan kapasitor sangat penting untuk penyediaan daya reaktif dari sebuah sistem daya. Aplikasi dari kapasitor biasa digunakan untuk memperbaiki factor daya pada sistem jaringan tenaga listrik, mengurangi rugi-rugi (*losses*) pada jaringan, meningkatkan tegangan dan memperbaiki stabilitas tegangan sehingga tegangan pada sistem dapat jadi lebih baik

BAB III

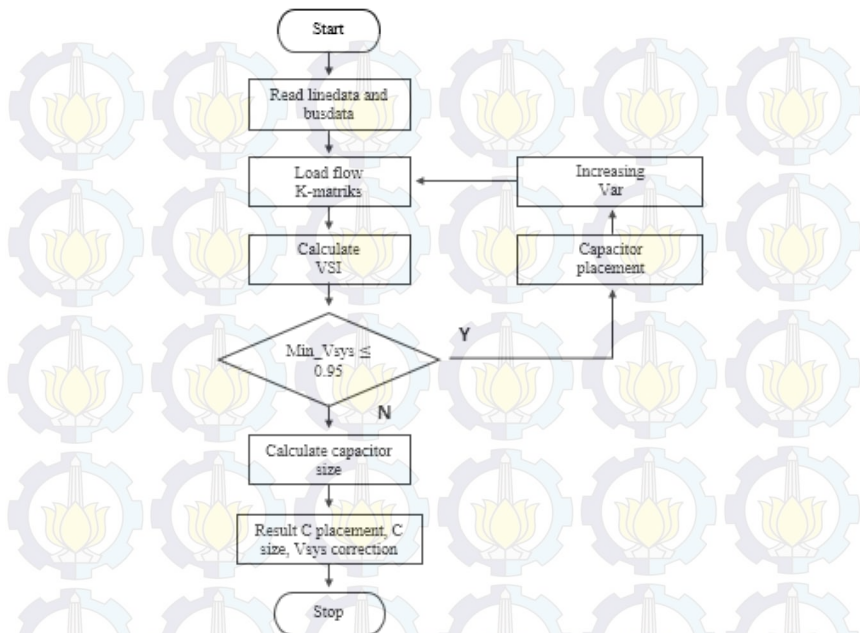
PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

Pada bab ini akan dijelaskan pengaplikasian dari kapasitor dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)* untuk menjaga kestabilan tegangan akibat adanya penambahan beban. Analisis kestabilan tegangan dilakukan untuk mendapatkan lokasi dari pemasangan kapasitor pada tiap bus sehingga level tegangan pada sistem dapat dipertahankan atau stabil jika ada kenaikan beban. Langkah-langkah dalam perencanaan sistem dan perencanaan program ini ada beberapa tahap yang harus dilakukan anatara lain :

1. Pengumpulan data
2. Simulasi *load flow* dengan menggunakan metode *network topology*. Menentukan lokasi pemaasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks kestabilan tegangan dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)*
3. Menentukan nilai kapasitor yang akan dipasang pada bus untuk menaikkan level tegangan pada sistem hingga $\geq 0,95$ pu atau dibawah drop tegangan $\geq 5\%$.

Pembuatan program dan simulasi ini dikerjakan dengan menggunakan *software* Matlab R2007b. Pengujian dari metode ini di terapkan dengan menggunakan 2 sistem yakni dua sistem jaringan distribusi radial satu fasa. Sistem yang pertama menggunakan sistem jaringan distribusi radial satu fasa 33 bus *IEEE* dan untuk sistem yang kedua menggunakan sistem jaringan distribusi PT PLN APJ Surabaya Utara yaitu penyulang Mulyosari 68 bus satu fasa.

Pada Tugas Akhir ini digunakan kapasitor untuk memperbaiki nilai dari level tegangan pada masing-masing bus dengan mempertimbangkan nilai indeks stabilitas tegangan berdasarkan metode *Voltage Stability Index (VSI)*. Dalam menentukan lokasi dari kapasitor maka terdapat beberapa tahapan proses yang harus dilakukan. Gambar 3.1 menunjukkan *flowchart* sistem secara menyeluruh.

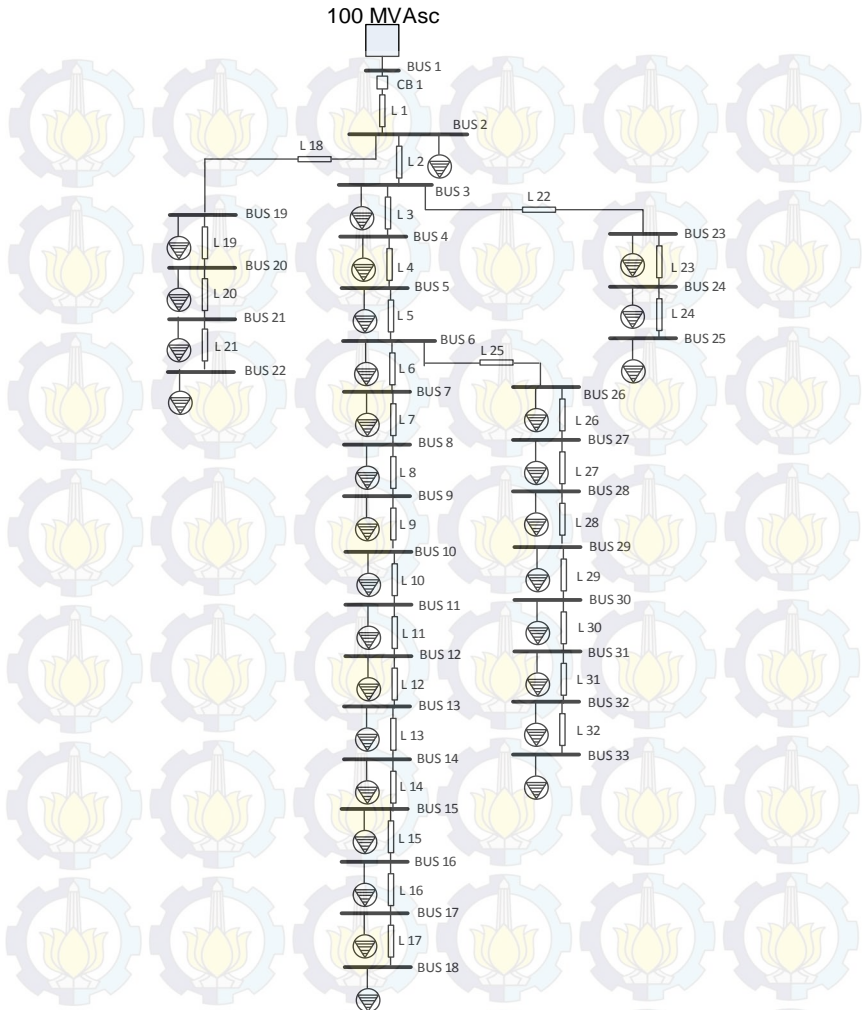


Gambar 3.1 Flowchart Sistem

Dari gambar 3.3 menunjukkan proses kerja dan sistem secara keseluruhan yang mulai dari pembacaan data hingga didapatkan lokasi penempatan kapasitor.

3.1 Pengumpulan Data

Untuk langkah pertama adalah dengan melakukan pembacaan data yang sesuai dari referensi[7] yang telah ditentukan sebelumnya. Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data jaringan disribusi radial satu fasa IEEE 33 bus (gambar 3.2) [7] dan data pada PT. PLN APJ Surabaya Utara pada Penyulang Mulyosari 68 bus satu fasa untuk *real system* (gambar 3.3).



Gambar 3.2 Sistem IEEE 33 Bus

Kemudian dilakukan analisis aliran daya (*load flow*) pada data tersebut dengan menggunakan metode network topology untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan. Dengan melakukan analisis kestabilan tegangan pada data tersebut maka dapat diketahui bus terlemah

atau bus yang paling kritis pada saat terjadi kenaikan beban. Setelah itu akan dilakukan proses perbaikan level tegangan dengan menggunakan metode indeks stabilitas tegangan untuk menentukan penentuan lokasi penempatan kapasitor dengan pemasangan kapasitor yang memiliki nilai indeks terlemah pada masing-masing bus.

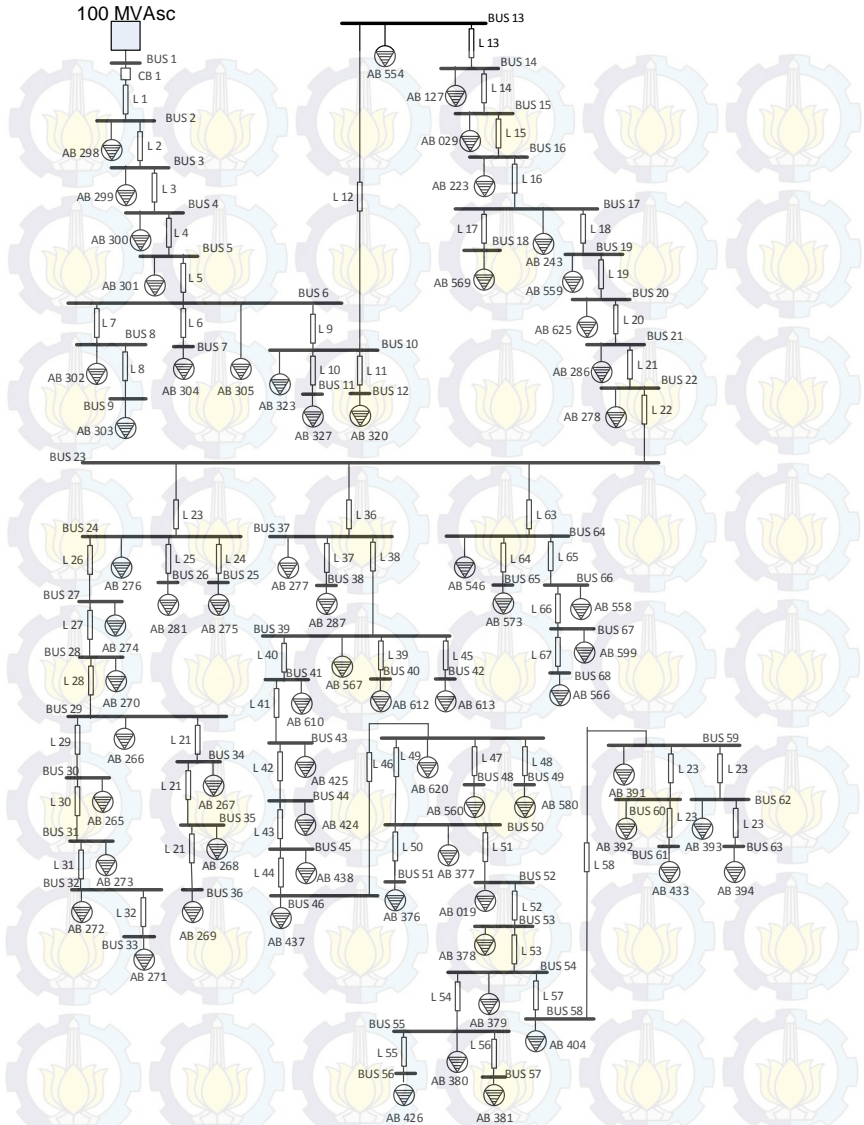
Data yang digunakan meliputi nilai impedansi pada tiap saluran dan data beban (daya aktif dan daya reaktif) pada masing-masing bus sesuai dengan tabel 3.1 untuk sistem IEEE 33 bus [7] dan tabel 3.2 untuk sistem jaringan distribusi 68 bus PT. PLN APJ Surabaya Utara

Tabel 3.1 Data IEEE 33 Bus

No	Saluran		Impedansi		Daya	
	Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)	P (kW)	Q (kVar)
1	1	2	0,0922	0,0477	200	120
2	2	3	0,4930	0,2511	180	80
3	3	4	0,3660	0,1840	240	160
4	4	5	0,3811	0,1941	120	60
5	5	6	0,8190	0,7000	120	40
6	6	7	0,1872	0,6188	400	200
7	7	8	0,7114	0,2351	400	200
8	8	9	1,0300	0,7400	120	40
9	9	10	1,0400	0,7400	120	40
10	10	11	0,1966	0,0650	90	60
11	11	12	0,3744	0,1238	120	70
12	12	13	1,4680	1,1550	120	70
13	13	14	0,5416	0,7129	240	160
14	14	15	0,5910	0,5260	120	20
15	15	16	0,7463	0,5450	120	40
16	16	17	1,2890	1,7210	120	40
17	17	18	0,7320	0,5740	180	80
18	2	19	0,1640	0,1565	180	80
19	19	20	1,5042	1,3554	180	80
20	20	21	0,4095	0,4784	180	80
21	21	22	0,7089	0,9373	180	80

Lanjutan Tabel 3.1 Data IEEE 33 Bus

22	3	23	0,4512	0,3083	180	100
23	23	24	0,8980	0,7091	840	400
24	24	25	0,8960	0,7011	840	400
25	6	26	0,2030	0,1034	120	50
26	26	27	0,2842	0,1447	120	50
27	27	28	1,0590	0,9337	120	40
28	28	29	0,8042	0,7006	240	140
29	39	30	0,5075	0,2585	400	1200
30	30	31	0,9744	0,9630	300	140
31	31	32	0,3105	0,3619	420	200
32	32	33	0,3410	0,5302	120	80



Gambar 3.3 Single Line Diagram Penyulang Mulyosari 68 bus PT. PLN API Surabaya Utara

Tabel 3.2 Data Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN API Surabaya Utara

No	Saluran		Impedansi		Daya	
	Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	0,34662	0,17004	0,085156	0,021228
2	2	3	0,0538	0,0286	0,074908	0,018788
3	3	4	0,03498	0,01716	0,060976	0,015128
4	4	5	0,08162	0,04004	0,019032	0,004636
5	5	6	0,09328	0,04576	0,065636	0,016348
6	6	7	0,09328	0,04576	0,121512	0,030256
7	6	8	0,0583	0,0286	0,06954	0,017324
8	8	9	0,04664	0,02288	0,072224	0,018056
9	6	10	0,1166	0,0572	0,060976	0,015372
10	10	11	0,09328	0,04576	0,088255	0,022204
11	10	12	0,09328	0,04576	0,084495	0,021177
12	10	13	0,0583	0,0286	0,038796	0,009736
13	13	14	0,26818	0,13156	0,049532	0,012444
14	14	15	0,09328	0,04576	0,08906	0,022204
15	15	16	0,08162	0,04004	0,088572	0,019008
16	16	17	0,06996	0,03432	0,04758	0,011956
17	17	18	0,06996	0,03432	0,014884	0,00366
18	17	19	0,1166	0,0572	0,011468	0,002928
19	19	20	0,09328	0,04576	0,001049	0,000268
20	20	21	0,10494	0,05148	0,48312	0,118584
21	21	22	0,08162	0,04004	0,038064	0,009516
22	22	23	0,09328	0,04576	0	0
23	23	24	0,1166	0,0572	0,025376	0,006344
24	24	25	0,03498	0,01716	0,026596	0,006588
25	24	26	0,15158	0,07436	0,087352	0,021887
26	24	27	0,08162	0,04004	0,044652	0,011224
27	27	28	0,04664	0,02288	0,098332	0,024644
28	28	29	0,06996	0,03432	0,046116	0,011468
29	29	30	0,06996	0,03432	0,0915	0,022936
30	30	31	0,06996	0,03432	0,016958	0,004148
31	31	32	0,03498	0,01716	0,055388	0,013908
32	32	33	0,0583	0,0286	0,040016	0,010004

Lanjutan Tabel 3.2 Data Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN API
Surabaya Utara

33	29	34	0,10494	0,05148	0,071736	0,018056
34	34	35	0,0583	0,0286	0,098332	0,024644
35	35	36	0,08162	0,04004	0,01669	0,004148
36	23	37	0,1749	0,0858	0,035136	0,008784
37	37	38	0,06996	0,03432	0,020252	0,005124
38	37	39	0,16324	0,08008	0,003172	0,000805
39	39	40	0,16324	0,08008	0,009638	0,002391
40	39	41	0,03498	0,01716	0,010004	0,002489
41	39	42	0,08162	0,04004	3,20494	0,80276
42	41	43	0,02332	0,01144	0,107262	0,02684
43	43	44	0,06996	0,03432	0,109068	0,027328
44	44	45	0,04664	0,02288	0,02318	0,005856
45	45	46	0,02332	0,01144	0,021228	0,005368
46	46	47	0,09328	0,04576	0,004148	0,000976
47	47	48	0,1166	0,0572	0,026352	0,006588
48	47	49	0,13992	0,06864	0,026596	0,006588
49	47	50	0,1166	0,0572	0,112972	0,028304
50	50	51	0,1166	0,0572	0,014591	0,00366
51	50	52	0,1749	0,0858	0,044896	0,011224
52	52	53	0,04664	0,02288	0,033623	0,00854
53	53	54	0,01166	0,00572	0,006344	0,01586
54	54	55	0,03498	0,01716	0,0793	0,019764
55	55	56	0,03498	0,01716	0,106384	0,026596
56	55	57	0,03498	0,01716	0,082716	0,02074
57	54	58	0,03498	0,01716	0,053436	0,013371
58	58	59	0,03498	0,01716	0,062952	0,01586
59	59	60	0,04664	0,02288	0,081984	0,020496
60	60	61	0,03498	0,01716	0,067588	0,016836
61	59	62	0,0583	0,0286	0,081984	0,020496
62	62	63	0,03498	0,01716	0,083936	0,020984
63	23	64	0,13992	0,06864	0,020252	0,005124
64	64	65	0,06996	0,03432	0,06344	0,015921
65	64	66	0,08162	0,04004	0,031476	0,007808
66	66	67	0,08162	0,04004	0,014579	0,003653
67	67	68	0,13992	0,06864	0,009938	0,002491

3.2 Analisis Aliran Daya

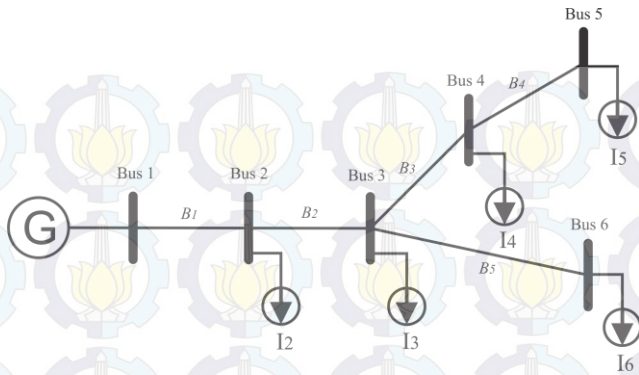
Untuk analisis aliran daya ini menggunakan *software* Matlab R2007b dengan melakukan perhitungan aliran daya (*load flow*) metode *network topology*. Data dari hasil aliran daya (*load flow*) akan didapatkan nilai tegangan pada masing-masing bus dan nilai arus pada tiap saluran. Dari nilai tegangan tersebut dapat dihitung kembali menggunakan analisis indeks stabilitas tegangan dengan metode *Voltage Stability Index* (VSI) sehingga akan didapatkan nilai indeks tegangan pada masing-masing bus yang menunjukkan level stabilitas tegangannya. Setelah dilakukan analisis, akan didapatkan nilai dimana nilai tersebut yang mendekati satu merupakan level tegangan pada bus yang menunjukkan stabil dan sebaliknya jika nilai tersebut mendekati nol maka pada bus tersebut menunjukkan ketidakstabilan.

3.2.1 Metode K-matrik

Dengan berkembangnya perhitungan matematik analisis aliran daya pada sistem distribusi radial menggunakan metode *network topology* sehingga didapatkan keakuratan, kemudahan dan kecepatan dalam perhitungan analisis aliran daya dengan metode ini. Analisis aliran daya dengan menggunakan metode ini pada sistem distribusi radial memiliki keefektifan dalam menghitung nilai tegangan pada masing-masing bus.

Metode K-matrik adalah metode dalam pembentukan matrik impedansi di setiap saluran karena pada saluran distribusi terdapat nilai impedansi yang terhubung dari suatu bus ke bus yang lain. Tiap saluran dari bus ke bus yang lain direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi. Langkah-langkah untuk membentuk K-matrik dalam analisis aliran daya ada beberapa aturan yang harus digunakan sebagai penuluruhan jalur, diantaranya sebagai berikut.

1. $k(i,j) = 1$, menunjukkan bahwa i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang sama.
2. $k(i,j) = -1$, menunjukkan bahwa i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan.
3. $k(i,j) = 0$, menunjukkan bahwa i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi



Gambar 3.4 Contoh *Single Line Diagram* dalam Pembentukan Nilai K-Matrik

Dari gambar 3.3 maka dapat melakukan aturan penelusuran jalur sehingga dapat membuat K-matrik sebagai berikut.

$$K - \text{matrik} = \begin{matrix} & \text{bus2} & \text{bus3} & \text{bus4} & \text{bus5} & \text{bus6} \\ \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Dari nilai K-matrik diatas maka didapatkan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Hubungan antara K-matrik dan BIBC adalah sebagai berikut.

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}]$$

$$[BIBC] = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.1)$$

Untuk selanjutnya mencari matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*) dengan cara mentranspose matrik BIBC lalu dikalikan dengan matrik impedansi *full branch* secara per komponen maka akan didapatkan matrik BCBV sebagai berikut.

$$BCBV = -[BIBC]' \cdot [Z_{BR}]$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix}$$

Maka untuk mencari nilai dari drop tegangan pada tiap saluran dengan metode K-matrik dapat disimpulkan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dari matrik diatas maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.2)$$

Dari persamaan (3.1) dan (3.2) maka dapat disubstitusikan sebagai berikut.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.3)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.4)$$

Sehingga dapat diketahui nilai drop tegangan pada masing-masing bus dengan menggunakan metode K-matrik seperti persamaan diatas.

3.3 Voltage Stability Index (VSI)

Dengan melakukan analisis aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan metode *network topology* maka didapatkan parameter-parameter yang nantinya akan digunakan dalam perumusan untuk mencari nilai *Voltage Stability Index* (VSI). Dari persamaan analisi aliran daya sebelumnya maka didapatkan persamaan arus dengan melihat tegangan pada sisi kirim dan sisi penerima. Persamaan arus pada bus dapat dilihat sebagai berikut.

$$I(i) = \frac{|V(i)|\angle\delta(i) - |V(i+1)|\angle\delta(i+1)}{R(i) + jX(i)} \quad (3.5)$$

Dimana dari persamaan (3.5) nilai “*i*” menandakan bus (1,2,3,..., dst), jadi misal untuk mencari arus pada bus 1 maka tegangan pada bus sisi pengirim (bus 1) dikurangi nilai tegangan pada sisi penerima (bus 2) lalu di bagi dengan impedansi saluran dalam bilangan kompleks. Dari persamaan (3.5) juga dapat menentukan nilai Daya kompleks dengan rumus sebagai berikut.

$$S(i+1) = P(i+1) + jQ(i+1) = V(i+1)I^*(i) \quad (3.6)$$

Setelah besara daya *S*, maka nilai dari *P* dan *Q* pun juga bisa kita dapatkan dari persamaan $+jQ$. Sehingga persamaan yang digunakan dalam perhitungan VSI (*Voltage Stability Index*) telah didapatkan dan dapat dimasukkan dalam persamaan sebagai berikut.

$$VSI_2 = V_1^4 - 4.0\{P_2^2 X - Q_2 R\}^2 - 4.0\{P_2 R + Q_2 X\}V_1^2 \geq 0 \quad (3.7)$$

Dimana VSI_2 adalah *Voltage Stability Index* pada bus 2. Untuk nilai dari *Voltage Stability Index* sendiri harus lebih besar sama dengan 0. Untuk operasi matematika dapat digantikan dengan nilai *i* yang di artikan

bus. $VSI(i) \geq 0$ dengan $(i) = 2,3,4,5,6, \dots$, dst (sebanyak jumlah bus pada sistem jaringan distribusi)

3.4 Penempatan Kapasitor

Dari nilai indeks kestabilan tegangan berdasarkan nilai VSI yang didapatkan, maka nilai indeks yang paling rendah adalah nilai dari bus yang level tegangannya paling tidak stabil. Bus yang memiliki nilai VSI terendah merupakan lokasi dari penempatan kapasitor untuk menaikkan level tegangan pada bus tersebut dalam sistem distribusi. Sehingga hal ini diharapkan pada seluruh sistem dapat mengalami kenaikan level tegangan dan menjadi stabil kembali. Setelah penentuan dari lokasi kapasitor ditentukan maka selanjutnya menghitung besar nilai kapasitor yang akan di pasang untuk meningkatkan level tegangan sistem distribusi hingga level tegangan minimum yaitu lebih besar dari 0,95 p.u

3.5 Ukuran Kapasitor

Untuk ukuran kapasitor diperoleh dari analisa aliran daya setelah perbaikan level tegangan pada sistem hingga lebih besar dari 0,95 p.u. Metode dalam perhitungan nilai kapasitor menggunakan *lamda iteration* dimana tiap iterasi akan ada penambahan atau pengurangan daya reaktif yang diinjeksikan ke bus yang telah ditentukan dari penempatan kapasitor. Untuk nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan rumus yakni dengan asumsi $S = Q$ atau daya reaktif yang dibutuhkan, sehingga $Z = X_c$ atau reaktansi saluran. Sehingga didapatkan nilai kapasitor sebagai berikut :

$$C = \frac{S}{V^2 2\pi f} \quad (3.8)$$



BAB IV

SIMULASI DAN ANALISA DATA

Pada bab ini menjelaskan hasil dari simulasi serta analisa data tentang kestabilan tegangan berdasarkan studi aliran daya dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI) pada sistem jaringan distribusi satu fasa dengan menggunakan data IEEE 33 bus dan sistem jaringan distribusi satu fasa Penyulang Mulyosari 68 bus pada PT. PLN APJ Surabaya Utara. Dengan melakukan simulasi maka akan didapatkan nilai indeks kestabilan tegangan pada masing-masing bus sehingga bisa didapatkan ranking dalam sistem jaringan distribusi. Setelah didapatkan ranking tersebut maka akan diketahui nilai ranking teratas adalah nilai indeks yang paling kecil (<1) yang menunjukkan bus tersebut sangat kritis atau yang paling lemah diantara bus yang lain. Dengan diketahui bus yang kritis maka kapasitor ditempatkan pada bus tersebut untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga 0,95 pu. Sehingga bus yang lain pun level tegangannya akan meningkat juga setelah pemasangan kapasitor pada bus yang kritis.

4.1 Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan untuk analisis aliran daya dan penentuan penempatan lokasi kapasitor dengan metode VSI menggunakan *software* MATLAB R2007b. Pada simulasi tersebut akan didapatkan nilai indeks tiap bus yang telah diranking, level tegangan tanpa menggunakan kapasitor, serta perubahan level tegangan dengan menggunakan kapasitor berdasarkan nilai indeks stabilitas tegangan. Dengan data yang diperoleh dari simulasi tersebut, lokasi penempatan kapasitor dan nilai kapasitor dapat ditentukan berdasarkan indeks stabilitas. Sehingga dengan dilakukan pemasangan kapasitor dapat mengurangi nilai drop tegangan.

4.1.1 Sistem IEEE 33 bus

Dengan menggunakan sistem jaringan distribusi radial satu fasa dari IEEE 33 bus maka dapat dilihat pada tabel 4.1 yang menunjukkan hasil simulasi *load flow* dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI) untuk mendapatkan nilai indeks pada masing-masing bus.

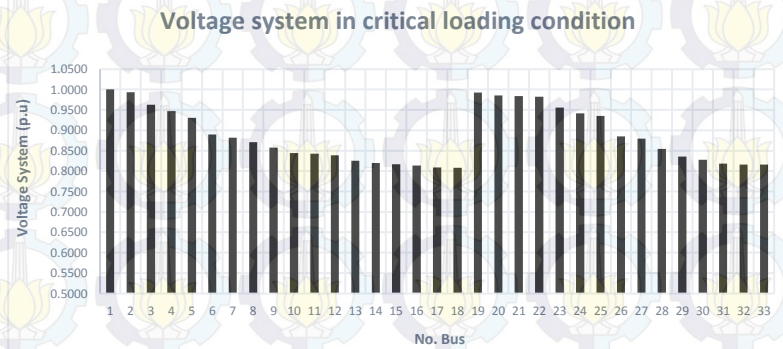
Tabel 4.1 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,00
2	0,9936	0,9745	2	2	0,64
3	0,9631	0,8601	7	7	3,69
4	0,9466	0,8027	9	9	5,34
5	0,9303	0,7484	12	12	6,97
6	0,8897	0,6263	13	13	11,03
7	0,8820	0,6050	15	15	11,80
8	0,8712	0,5761	17	17	12,88
9	0,8572	0,5399	18	18	14,28
10	0,8442	0,5078	20	20	15,58
11	0,8423	0,5032	21	21	15,77
12	0,8390	0,4952	22	22	16,10
13	0,8252	0,4633	25	25	17,48
14	0,8200	0,4516	26	26	18,00
15	0,8168	0,4445	28	28	18,32
16	0,8137	0,4377	31	31	18,63
17	0,8091	0,4274	32	32	19,09
18	0,8077	0,4245	33	33	19,23
19	0,9925	0,9721	3	3	0,75
20	0,9853	0,9425	4	4	1,47
21	0,9839	0,9371	5	5	1,61
22	0,9826	0,9321	6	6	1,74
23	0,9557	0,8340	8	8	4,43
24	0,9419	0,7869	10	10	5,81
25	0,9350	0,7641	11	11	6,50

Lanjutan Tabel 4.1 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

26	0,8854	0,6138	14	14	11,46
27	0,8796	0,5983	16	16	12,04
28	0,8541	0,5315	19	19	14,59
29	0,8356	0,4868	23	23	16,44
30	0,8276	0,4679	24	24	17,24
31	0,8183	0,4477	27	27	18,17
32	0,8163	0,4433	29	29	18,37
33	0,8157	0,4419	30	30	18,43

Dari data hasil simulasi pada tabel 4.1 maka didapatkan nilai indeks terendah pada bus 18 yang merupakan bus terlemah atau bus yang paling kritis pada sistem ini. Untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga naik ≥ 0.95 p.u pada masing-masing bus maka dilakukan pemasangan kapasitor pada bus terlemah. Dalam hal ini akan dicoba pemasangan beberapa kapasitor berdasarkan nilai indeks yang terlemah hingga sistem ≥ 0.95 p.u atau tidak ada yang drop diatas 5%.



Gambar 4.1 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor

Untuk pemasangan satu kapasitor yang pertama akan ditempatkan pada bus 18 sesuai gambar 4.1 yang menunjukkan bus yang paling

terlemah berdasarkan VSI dan juga bus yang paling ujung. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.2

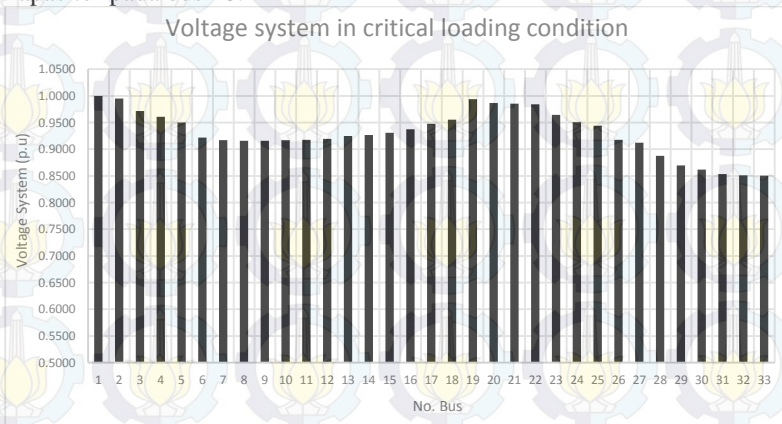
Tabel 4.2 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,000	1	1	0,000
2	0,9950	0,980	2	2	0,502
3	0,9719	0,892	7	7	2,815
4	0,9608	0,851	10	9	3,917
5	0,9501	0,813	13	11	4,991
6	0,9219	0,720	19	17	7,814
7	0,9168	0,704	24	21	8,316
8	0,9160	0,700	26	23	8,403
9	0,9160	0,698	25	26	8,400
10	0,9171	0,698	22	25	8,290
11	0,9178	0,700	21	24	8,216
12	0,9195	0,704	20	22	8,047
13	0,9251	0,714	18	19	7,486
14	0,9269	0,715	17	18	7,309
15	0,9312	0,724	16	16	6,885
16	0,9374	0,738	15	15	6,257
17	0,9479	0,752	11	14	5,208
18	0,9554	0,767	9	13	4,461
19	0,9939	0,976	3	3	0,608
20	0,9867	0,948	4	4	1,329
21	0,9853	0,942	5	5	1,471
22	0,9840	0,937	6	6	1,599
23	0,9645	0,865	8	8	3,549

Lanjutan Tabel 4.2 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18

24	0,9508	0,817	12	10	4,915
25	0,9440	0,794	14	12	5,598
26	0,9177	0,706	23	20	8,229
27	0,9122	0,689	27	27	8,783
28	0,8876	0,617	28	28	11,241
29	0,8699	0,569	29	29	13,010
30	0,8621	0,548	30	30	13,786
31	0,8533	0,526	31	31	14,671
32	0,8513	0,522	32	32	14,865
33	0,8507	0,520	33	33	14,925

Dari tabel 4.2 menunjukkan hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor pada bus 18. Pada bus 18 level tegangannya sudah meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u namun tidak semuanya bus meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u seperti yang terlihat pada grafik gambar 4.2. Dari gambar tersebut perlu adanya penambahan kapasitor pada bus yang memiliki nilai indeks stabilitas tegangan yang paling rendah setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18.



Gambar 4.2 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18

Untuk penambahan pemasangan kapasitor akan ditempatkan pada bus 33 yang mempunyai nilai indeks paling rendah atau bus yang kritis setelah pemasangan kapasitor pada 18. Bus 33 ini terletak diujung dan jauh dari sumber sehingga mengalami drop tegangan. Hasil simulasi dari penambahan kapasitor pada bus 33 dapat dilihat di tabel 4.3 sebagai berikut.

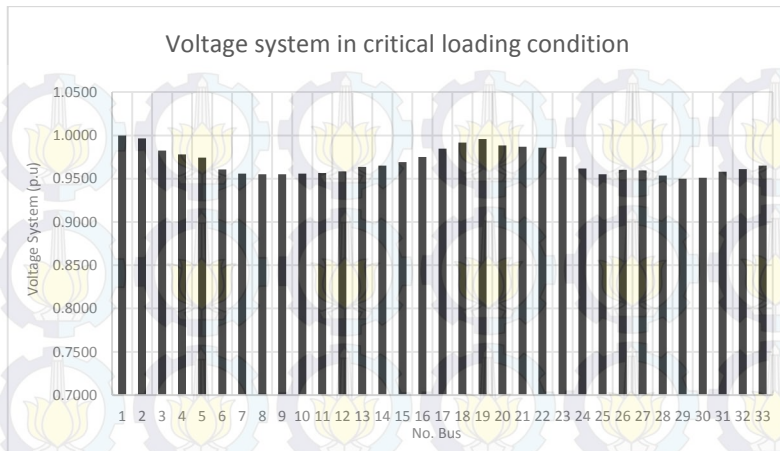
Tabel 4.3 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan 33

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,000
2	0,9967	0,9866	2	2	0,334
3	0,9825	0,9309	9	7	1,750
4	0,9781	0,9127	10	8	2,194
5	0,9742	0,8961	13	10	2,583
6	0,9607	0,8402	20	15	3,925
7	0,9560	0,8234	26	21	4,403
8	0,9551	0,8180	28	23	4,493
9	0,9550	0,8134	29	25	4,498
10	0,9560	0,8114	27	27	4,402
11	0,9567	0,8129	25	26	4,332
12	0,9583	0,8168	23	24	4,173
13	0,9635	0,8243	17	20	3,652
14	0,9651	0,8233	16	22	3,492
15	0,9691	0,8311	14	19	3,093
16	0,9750	0,8445	12	14	2,501
17	0,9847	0,8531	8	13	1,526
18	0,9918	0,8674	4	11	0,820
19	0,9956	0,9825	3	3	0,440
20	0,9884	0,9544	5	4	1,159

Lanjutan Tabel 4.3 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan 33

21	0,9870	0,9490	6	5	1,301
22	0,9857	0,9440	7	6	1,429
23	0,9753	0,9039	11	9	2,475
24	0,9618	0,8552	18	12	3,824
25	0,9550	0,8316	30	18	4,498
26	0,9602	0,8367	21	16	3,981
27	0,9597	0,8323	22	17	4,033
28	0,9537	0,7986	31	28	4,630
29	0,9501	0,7737	33	32	4,994
30	0,9511	0,7692	32	33	4,889
31	0,9581	0,7759	24	31	4,185
32	0,9610	0,7781	19	30	3,897
33	0,9652	0,7795	15	29	3,480

Dari tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa kenaikan level tegangan mencapai $\geq 0,95$ p.u pada sistem jaringan distribusi 33 bus harus ditambahkan dua kapasitor sekaligus pada tempat yang berbeda. Kapasitor pertama sebesar 20 kVar yang terletak pada bus 18 dan kapasitor yang kedua sebesar ditempatkan pada bus 33 sebesar 27 kVar sehingga sistem pada jaringan tersebut tidak mengalami drop tegangan hingga diatas 5%. Untuk hasil grafik setelah pemasangan kapasitor di bus 18 dan bus 33 dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan Bus 33

Dengan menggunakan dua kapasitor yang ditempatkan pada bus yang berbeda dengan ukuran yang berbeda pada tiap bus maka level tegangan pada sistem dapat meningkat yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Untuk nilai kapasitor dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai Kapasitor Bus 18 dan 33 pada Sistem 33 Bus

No bus	kVar
18	20
33	27

4.1.2 Penyulang Mulyosari 68 bus

Pada penyulang Mulyosari terdiri dari 68 bus dengan konfigurasi sistem 1 fasa radial tipe pohon. Pada sistem ini beban yang terpasang pada 66 bus dengan bus 1 adalah bus sumber dan bus 23 tidak ada beban. pada tabel 4.4 di bawah ini menunjukkan hasil simulasi *load flow* satu fasa dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI) untuk mendapatkan nilai indeks stabilitas tegangan pada masing-masing bus sebelum pemasangan kapasitor.

Tabel 4.5 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,00000	1	1	0,000
2	0,9852	0,94115	2	2	1,477
3	0,9829	0,93196	3	3	1,714
4	0,9814	0,92621	4	4	1,862
5	0,9780	0,91296	5	5	2,204
6	0,9740	0,89791	6	9	2,596
7	0,9740	0,89822	8	7	2,599
8	0,9740	0,89826	7	6	2,598
9	0,9740	0,89822	9	8	2,599
10	0,9693	0,87966	10	12	3,074
11	0,9692	0,87997	12	11	3,076
12	0,9692	0,87998	11	10	3,076
13	0,9669	0,87072	13	13	3,309
14	0,9561	0,83010	14	14	4,387
15	0,9524	0,81618	15	15	4,761
16	0,9491	0,80414	16	16	5,086
17	0,9464	0,79392	17	18	5,362
18	0,9464	0,79427	18	17	5,363
19	0,9418	0,77707	19	19	5,821
20	0,9381	0,76369	20	20	6,188
21	0,9340	0,74873	21	21	6,601
22	0,9309	0,73753	22	22	6,910
23	0,9274	0,72482	23	28	7,263
24	0,9271	0,72436	29	30	7,288
25	0,9271	0,72437	30	29	7,288

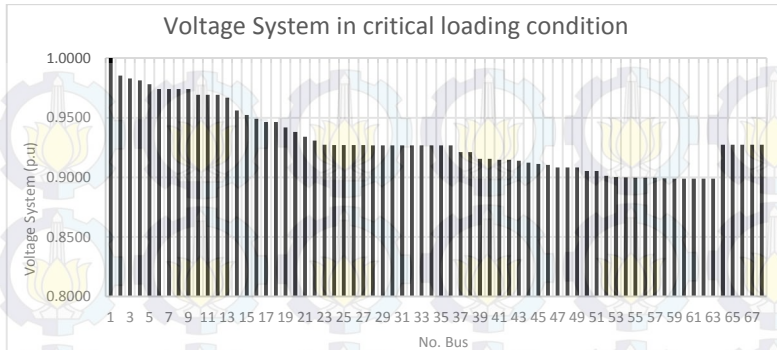
Lanjutan Tabel 4.5 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

26	0,9271	0,72426	31	31	7,292
27	0,9270	0,72394	32	32	7,302
28	0,9269	0,72371	33	33	7,309
29	0,9268	0,72344	34	34	7,319
30	0,9268	0,72332	35	35	7,323
31	0,9267	0,72325	37	37	7,325
32	0,9267	0,72322	38	38	7,326
33	0,9267	0,72320	41	41	7,327
34	0,9268	0,72328	36	36	7,324
35	0,9267	0,72322	39	39	7,326
36	0,9267	0,72321	40	40	7,327
37	0,9212	0,70253	42	43	7,879
38	0,9212	0,70276	43	42	7,879
39	0,9155	0,68188	44	45	8,451
40	0,9155	0,68213	45	44	8,452
41	0,9146	0,67852	47	47	8,540
42	0,9147	0,67990	46	46	8,530
43	0,9140	0,67626	48	48	8,599
44	0,9123	0,66940	49	49	8,774
45	0,9111	0,66488	50	50	8,889
46	0,9105	0,66262	51	51	8,947
47	0,9082	0,65360	52	54	9,176
48	0,9082	0,65373	53	52	9,177
49	0,9082	0,65372	54	53	9,177
50	0,9054	0,64233	55	56	9,460
51	0,9054	0,64247	56	55	9,461
52	0,9012	0,62553	57	57	9,880

Lanjutan Tabel 4.5 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

53	0,9001	0,62106	58	58	9,992
54	0,8998	0,61994	59	62	10,019
55	0,8998	0,62000	60	59	10,022
56	0,8998	0,61997	62	61	10,023
57	0,8998	0,61998	61	60	10,023
58	0,8990	0,61668	63	64	10,099
59	0,8990	0,61669	64	63	10,104
60	0,8989	0,61664	65	65	10,106
61	0,8989	0,61662	66	66	10,106
62	0,8989	0,61662	67	67	10,106
63	0,8989	0,61660	68	68	10,107
64	0,9273	0,72652	24	23	7,269
65	0,9273	0,72491	25	25	7,270
66	0,9273	0,72491	26	24	7,270
67	0,9273	0,72489	27	26	7,271
68	0,9273	0,72488	28	27	7,271

Dari data hasil simulasi penyulang Mulyosari pada tabel 4.4 maka didapatkan nilai indeks terendah pada bus 63 yang merupakan bus terlemah atau bus yang paling kritis pada sistem ini. Untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga naik $\geq 0,95$ p.u pada masing-masing bus maka dilakukan pemasangan kapasitor pada bus terlemah. Dalam hal ini akan dicoba pemasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks yang terlemah hingga sistem $\geq 0,95$ p.u atau tidak ada yang drop diatas 5%.



Gambar 4.4 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor

Untuk pemasangan kapasitor yang pertama akan ditempatkan pada bus 63 sesuai gambar 4.5 dan tabel 4.4 yang menunjukkan bus yang paling terlemah berdasarkan metode *Voltage Stability Index* (VSI). Hasil simulasi *load flow* dengan pemasangan kapasitor pada bus 63 dapat dilihat pada tabel 4.5 yang menunjukkan bahwa tegangan dari sistem sudah meningkat dari sebelumnya.

Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

No Bus	Voltage System (p.u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage system	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,000
2	0,9916	0,9656	2	2	0,836
3	0,9903	0,9599	3	3	0,973
4	0,9894	0,9565	4	4	1,056
5	0,9875	0,9484	5	5	1,247
6	0,9853	0,9391	6	9	1,466
7	0,9853	0,9392	7	7	1,469
8	0,9853	0,9393	7	6	1,468
9	0,9853	0,9392	9	8	1,469

Lanjutan Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

10	0,9827	0,9278	10	12	1,728
11	0,9827	0,9279	12	11	1,730
12	0,9827	0,9280	11	10	1,730
13	0,9814	0,9223	13	13	1,855
14	0,9756	0,8963	14	14	2,438
15	0,9736	0,8872	15	15	2,639
16	0,9719	0,8792	16	16	2,813
17	0,9704	0,8723	17	18	2,961
18	0,9704	0,8725	18	17	2,961
19	0,9680	0,8609	19	19	3,204
20	0,9660	0,8517	20	20	3,399
21	0,9638	0,8412	21	21	3,618
22	0,9622	0,8333	22	22	3,777
23	0,9604	0,8243	23	24	3,958
24	0,9602	0,8236	29	30	3,982
25	0,9602	0,8236	30	29	3,982
26	0,9601	0,8235	31	31	3,986
27	0,9600	0,8232	32	32	3,996
28	0,9600	0,8229	33	33	4,003
29	0,9599	0,8227	34	34	4,011
30	0,9598	0,8225	35	35	4,016
31	0,9598	0,8225	37	37	4,018
32	0,9598	0,8224	38	38	4,019
33	0,9598	0,8224	41	41	4,019
34	0,9598	0,8225	36	36	4,017
35	0,9598	0,8224	39	39	4,019
36	0,9598	0,8224	40	40	4,019

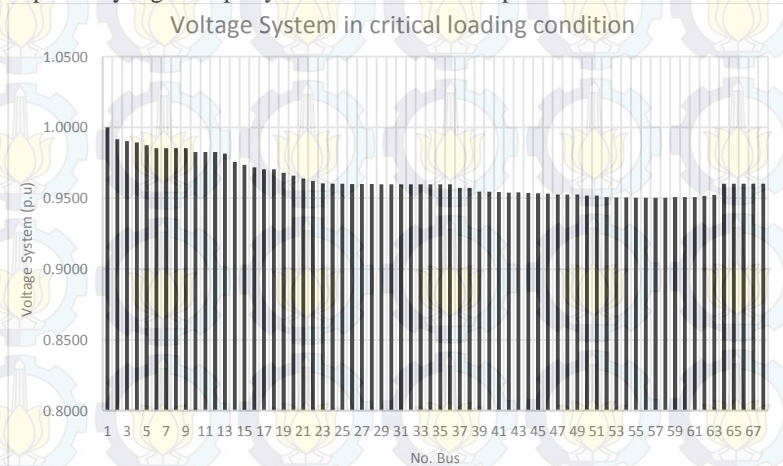
Lanjutan Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

37	0,9575	0,8085	42	43	4,254
38	0,9575	0,8086	43	42	4,254
39	0,9547	0,7935	44	45	4,527
40	0,9547	0,7936	45	44	4,528
41	0,9545	0,7914	46	46	4,554
42	0,9540	0,7912	48	47	4,602
43	0,9543	0,7902	47	48	4,571
44	0,9538	0,7853	49	49	4,622
45	0,9535	0,7823	50	50	4,654
46	0,9533	0,7808	51	51	4,670
47	0,9527	0,7747	52	52	4,733
48	0,9527	0,7746	53	53	4,734
49	0,9527	0,7746	54	54	4,734
50	0,9519	0,7668	56	55	4,810
51	0,9519	0,7668	57	56	4,810
52	0,9508	0,7548	60	57	4,918
53	0,9505	0,7515	63	60	4,947
54	0,9505	0,7507	64	61	4,954
55	0,9504	0,7506	65	62	4,957
56	0,9504	0,7505	67	64	4,958
57	0,9504	0,7505	66	63	4,957
58	0,9503	0,7483	68	68	4,972
59	0,9508	0,7498	59	65	4,916
60	0,9508	0,7496	61	66	4,918
61	0,9508	0,7495	62	67	4,919
62	0,9518	0,7522	58	59	4,819
63	0,9524	0,7537	55	58	4,760

Lanjutan Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

64	0,9604	0,8244	24	23	3,964
65	0,9604	0,8242	25	26	3,965
66	0,9604	0,8242	26	25	3,965
67	0,9603	0,8242	27	27	3,965
68	0,9603	0,8242	28	28	3,966

Dari tabel 4.5 menunjukkan hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor pada bus 63. Pada bus 63 level tegangan sudah meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u. Dan seluruh sistem tegangan sudah meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u. atau tidak ada yang melebihi dari batas drop tegangan ($\geq 5\%$) yang dapat dilihat pada grafik gambar 4.6. Pada grafik gambar 4.6 menunjukkan bahwa setelah pemasangan kapasitor pada bus 63 membuat sistem jadi lebih baik dari sebelumnya. Untuk ukuran kapasitor yang terpasang di bus 63 sebesar 70 kVar. Untuk membandingkan nilai kapasitor yang baik dapat digunakan beberapa simulasi *load flow* pada penyulang Mulyosari 68 bus dengan pemasangan kapasitor yang berbeda lokasi (bus). Sehingga dari perbandingan tersebut dapat diperoleh nilai kapasitor yang mempunyai ukuran lebih kecil pada sistem.



Gambar 4.5 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

Untuk selanjutnya akan dicoba pemasangan kapasitor pada bus 68 yang merupakan bus terakhir atau bus yang paling ujung dari penyulang Mulyosari. Tabel 4.6 merupakan hasil simulasi *load flow* setelah pemasangan pada bus 68. Pemasangan pada bus 68 untuk mendapatkan nilai kapasitor yang baik maka perlu pemasangan kapasitor pada bus yang lain. Sehingga dapat dibandingkan pemasangan kapasitor pada bus 68 dan bus yang sebelumnya (bus 63) untuk mendapatkan nilai kapasitor yang baik.

Tabel 4.7 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage system	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,000
2	0,9950	0,9786	2	2	0,500
3	0,9942	0,9748	3	3	0,585
4	0,9937	0,9726	4	4	0,634
5	0,9925	0,9673	5	5	0,746
6	0,9913	0,9611	6	9	0,874
7	0,9912	0,9611	8	7	0,878
8	0,9912	0,9612	7	6	0,877
9	0,9912	0,9611	9	8	0,878
10	0,9898	0,9536	10	12	1,024
11	0,9897	0,9537	12	11	1,026
12	0,9897	0,9537	11	10	1,026
13	0,9891	0,9499	14	13	1,095
14	0,9858	0,9321	15	14	1,418
15	0,9847	0,9257	17	15	1,529
16	0,9838	0,9199	18	16	1,624
17	0,9830	0,9150	20	19	1,704
18	0,9830	0,9151	21	18	1,704

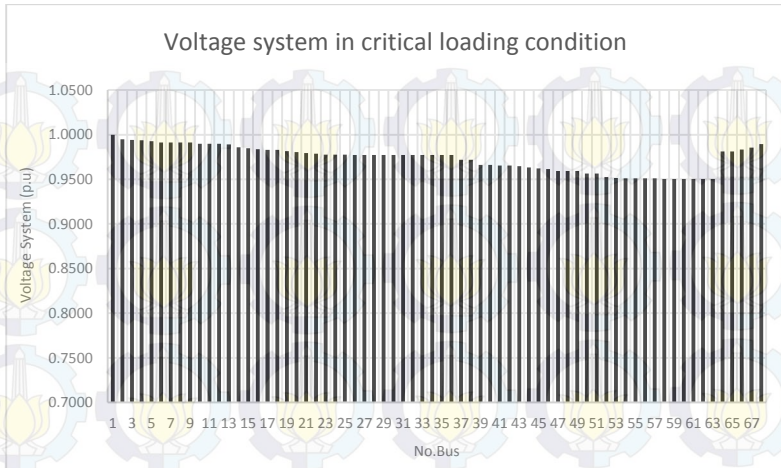
Lanjutan Tabel 4.7 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

19	0,9816	0,9066	22	20	1,835
20	0,9806	0,8998	25	22	1,940
21	0,9794	0,8918	26	25	2,057
22	0,9786	0,8859	27	27	2,138
23	0,9777	0,8790	28	28	2,229
24	0,9775	0,8782	29	30	2,252
25	0,9775	0,8783	30	29	2,252
26	0,9774	0,8781	31	31	2,256
27	0,9773	0,8778	32	32	2,265
28	0,9773	0,8776	33	33	2,272
29	0,9772	0,8773	34	34	2,281
30	0,9772	0,8771	35	35	2,285
31	0,9771	0,8771	37	37	2,287
32	0,9771	0,8770	38	38	2,288
33	0,9771	0,8770	41	41	2,289
34	0,9771	0,8771	36	36	2,286
35	0,9771	0,8770	39	39	2,288
36	0,9771	0,8770	40	40	2,289
37	0,9718	0,8528	42	43	2,819
38	0,9718	0,8530	43	42	2,820
39	0,9663	0,8287	44	45	3,368
40	0,9663	0,8290	45	44	3,369
41	0,9655	0,8247	47	47	3,454
42	0,9656	0,8266	46	46	3,442
43	0,9649	0,8220	48	48	3,511
44	0,9632	0,8138	49	49	3,680
45	0,9621	0,8084	50	50	3,792

Lanjutan Tabel 4.7 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

46	0,9615	0,8058	51	51	3,847
47	0,9593	0,7950	52	54	4,069
48	0,9593	0,7952	53	52	4,070
49	0,9593	0,7951	54	53	4,070
50	0,9566	0,7816	55	56	4,344
51	0,9566	0,7818	56	55	4,345
52	0,9525	0,7617	57	57	4,750
53	0,9514	0,7564	58	58	4,858
54	0,9512	0,7551	59	62	4,885
55	0,9511	0,7551	60	59	4,888
56	0,9511	0,7551	62	61	4,889
57	0,9511	0,7551	61	60	4,888
58	0,9504	0,7512	63	64	4,963
59	0,9503	0,7512	64	63	4,966
60	0,9503	0,7511	65	65	4,968
61	0,9503	0,7511	66	66	4,969
62	0,9503	0,7511	67	67	4,969
63	0,9503	0,7511	68	68	4,970
64	0,9814	0,8925	23	24	1,864
65	0,9813	0,8905	24	26	1,865
66	0,9835	0,8976	19	23	1,649
67	0,9857	0,9044	16	21	1,434
68	0,9894	0,9162	13	17	1,065

Dari hasil simulasi *load flow* pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga $\geq 0,95$ p.u. maka kapasitor yang dipasang pada bus 68 sebesar 110 kVar. Grafik dari sistem Mulyosari 68 bus setelah pemasangan kapasitor pada bus 68 dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.6 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

Dari hasil simulasi *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 63 dan pemasangan kapasitor pada bus 68 maka untuk nilai kapasitor lebih baik ditempatkan pada bus 63 dengan kapasitor sebesar 70 kVar di bandingkan dengan penempatan kapasitor pada bus 68 yang nilainya sebesar 110 kVar. Tabel 4.8 menunjukkan nilai kapasitor yang ditempatkan pada bus 63 dan 68

Tabel 4.8 Nilai Kapasitor Bus 63 dan 68 pada Sistem

No bus	kVar
63	70
68	110

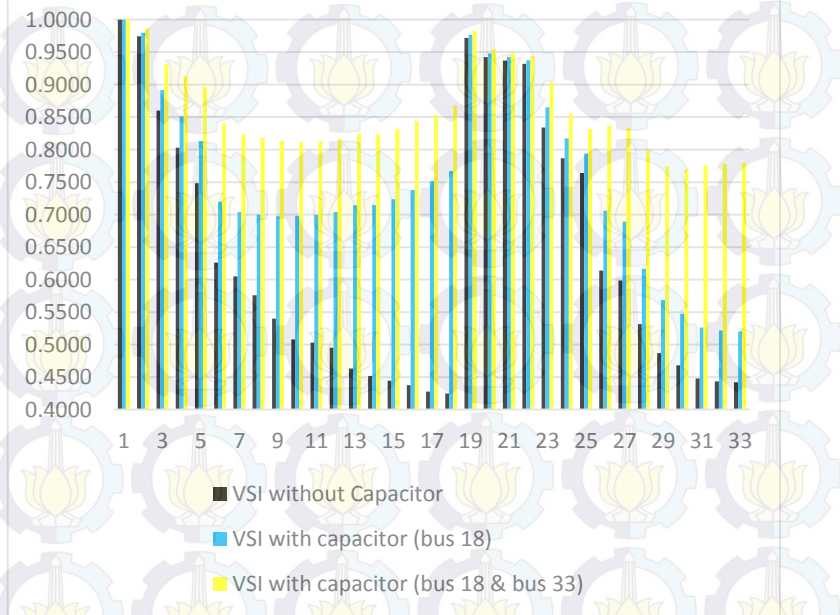
4.2 Analisis Aliran Daya

Dari hasil simulasi yang kita dapatkan, terdapat perbedaan beberapa kenaikan level tegangan pada sistem berdasarkan penempatan lokasi kapasitor dan ukuran dari kapasitor itu sendiri. Perbedaan dari penempatan dan ukuran kapasitor inilah yang mempengaruhi besar dari drop tegangan pada tiap bus sebelum pemasangan kapasitor pada sistem. Semakin besar drop tegangan pada sistem, maka semakin besar pula

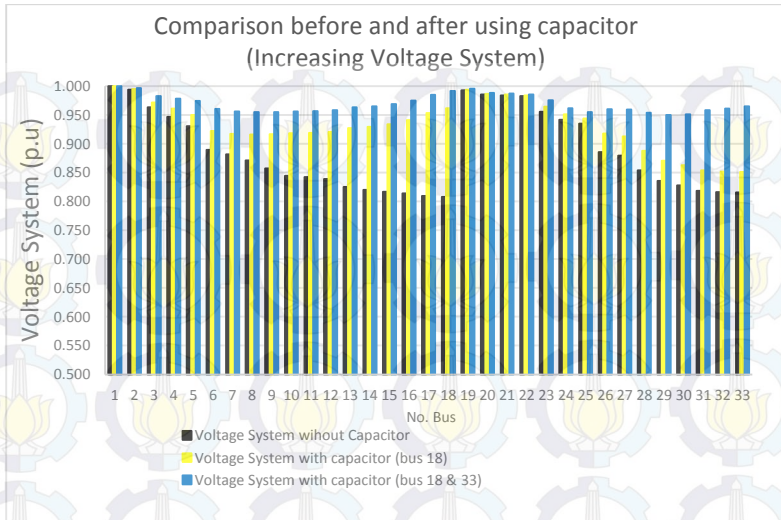
kapasitas kapasitor yang harus dipasang untuk mendapatkan peningkatan level tegangan sistem hingga 0,95 pu.

4.2.1 Sistem IEEE 33 bus

Setelah melakukan simulasi pada sistem IEEE 33 bus satu fasa maka didapatkan data hasil simulasi pada tabel 4.1 yang merupakan data hasil *load flow* sebelum pemasangan kapasitor pada sistem, tabel 4.2 adalah hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 18. Tabel 4.3 adalah hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 18 dan bus 33. Dari ketiga data tersebut maka didapatkan grafik peningkatan level tegangan pada sistem hingga 0,95 pu. Pemasangan kapasitor pada bus 18 dengan kapasitas 20 kVar dan pada bus 33 dengan kapasitas sebesar 27 kVar. Dengan pemasangan dua kapasitor sekaligus yang dilakukan pada kedua lokasi ini dapat meningkatkan level tegangan pada sistem hingga 0,95 pu.



Gambar 4.7 Perbandingan *Stability Index* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE



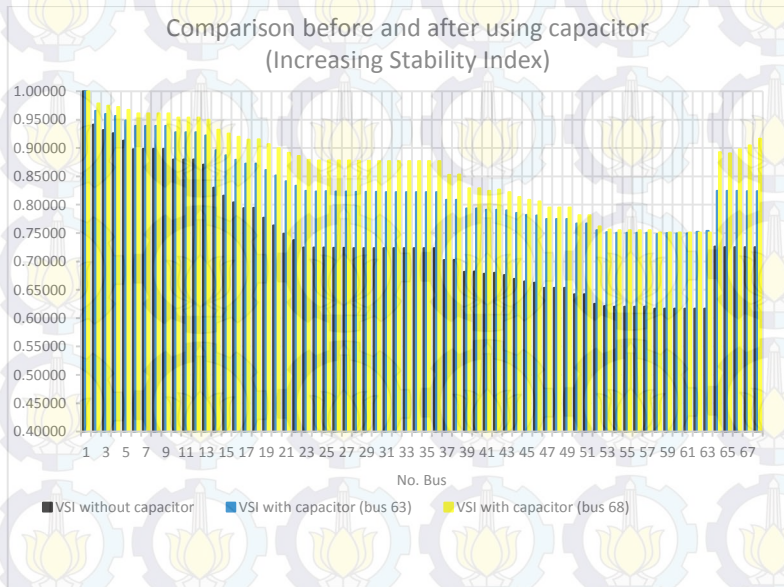
Gambar 4.8 Perbandingan *Voltage System* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE

Dari hasil simulasi untuk pemasangan kapasitor pada sistem 33 bus satu fasa IEEE, lokasi pemasangan kapasitor yang efektif yaitu berada pada bus 18 dan bus 33 dikarenakan untuk meningkatkan level tegangan hingga 0,95 pu harus ditempatkan pada bus yang memiliki nilai indeks kestabilan paling kecil atau pada bus yang kritis. Dari hasil *load flow* setelah melakukan pemasangan kapasitor pada bus 18 sebesar 20 kVar ternyata sistem masih belum bisa mencapai level tegangan hingga 0,95 pu, maka perlu diadakannya pemasangan kapasitor lagi atau penambahan kapasitor yang memiliki nilai indeks paling rendah yaitu pada bus 33 dengan kapasitas sebesar 27 kVar maka sistem dapat meningkat hingga level tegangan pada sistem mencapai 0,95 pu.

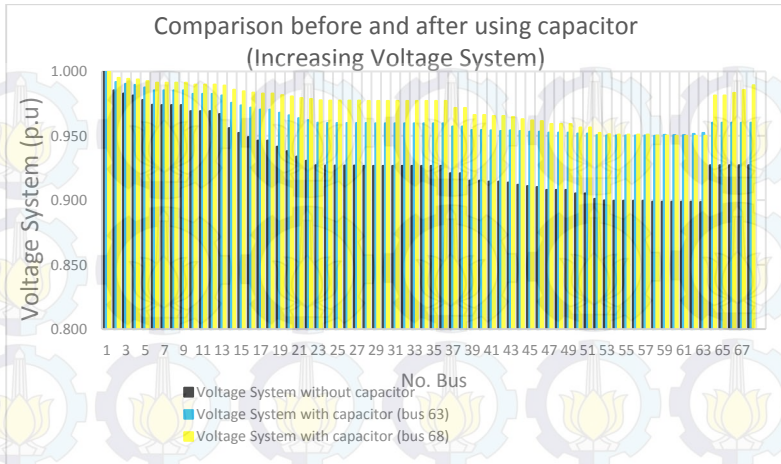
4.2.2 Penyulang Mulyosari 68 bus

Setelah melakukan simulasi pada penyulang Mulyosari 68 bus maka didapatkan data hasil simulasi seperti pada tabel 4.4 yang merupakan data hasil *load flow* sebelum pemasangan kapasitor, tabel 4.5 adalah data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 63, dan tabel 4.6 adalah data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 68. Dari data tersebut didapatkan grafik kenaikan level tegangan pada

sistem yang dapat dilihat pada gambar 4.8. Pemasangan kapasitor pada bus 63 dengan kapasitas sebesar 70 kVar sedangkan untuk pemasangan kapasitor pada bus 68 sebesar 110 kVar. Dengan adanya perbandingan penempatan kapasitor maka dapat dibandingkan pemasangan kapasitor yang lebih efektif pada sistem jaringan distribusi penyalang Mulyosari 68 bus satu fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara dengan kapasitas pemasangan kapasitor yang lebih kecil untuk mendapatkan tingkatan level tegangan sistem hingga 0,95 pu.



Gambar 4.9 Perbandingan *Stability Index* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyalang Mulyosari 68 Bus



Gambar 4.10 Perbandingan *Voltage System* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyulang Mulyosari 68 Bus



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukmawidjaja Maula, 2008, “Perhitungan Profil Tegangan pada Sistem Distribusi Menggunakan Matrix Admitansi dan Matrix Impedansi Bus”, Jurusan Teknil Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta.
- [2] Mesut E Baran, Felix F Wu,” *Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing*”, IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989
- [3] Kundur, P. “*Voltage Stability, Power System stability and control*”. 959-1019.1994.
- [4] Venkataramana, A. “*Power Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control (1th)*”.2007.
- [5] Mohamed M. Aly, Mamdouh Abdel-Akher,A, “*Continous Power-Flow for Distribution System Voltage Stability Analysis*”, IEEE 2012
- [6] M S Dinesh, Dr. A.K. Singh “*Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks*”
- [7] Tapan Kumar Chattopadhyay, Sumit Banerjee, Chandan Kuma Chanda “*Impact of Shunt Capacitor on Voltage Stability Analysis of Distribution Networks under Critical Loading Conditions*”



---Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisa data yang diperoleh pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Analisa dari kestabilan tegangan pada jaringan distribusi radial satu fasa bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas dari tiap bus terhadap perubahan beban.
2. Metode *Voltage Stability Index* (VSI) dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks dari tiap bus pada sistem jaringan distribusi radial.
3. Dengan menggunakan kapasitor yang pemasangannya efektif berdasarkan nilai indeks yang diperoleh dari metode *Voltage Stability Index* (VSI) dapat meningkatkan level tegangan pada suatu sistem jaringan distribusi radial satu fasa.
4. Pada sistem data jaringan distribusi IEEE 33 bus didapatkan nilai indeks terendah pada bus 18 sebesar 0,4245 dan untuk sistem data jaringan disrtibusi pada penyulang Mulyosari 68 bus didapatkan nilai indeks terendah pada bus 63 sebesar 0,617.
5. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18 (IEEE 33 bus) level tegangan pada bus 18 meningkat hingga 0,9554 pu dengan nilai drop tegangan 4,461%, tapi tidak semua seluruh sistem mengalami kenaikan hingga $\geq 0,95$ pu maka perlu dilakukan analisis kestabilan setelah pemasangan kapasitor pada bus 18 dan didapatkan nilai indeks terendah selanjutnya terletak pada bus 33
6. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18 dan 33 (IEEE 33 bus) level tegangan pada seluruh bus mengalami kenaikan hingga $\geq 0,95$ pu dimana tegangan terendah sebesar 0,9501 pada bus 29 dengan nilai drop tegangan 4,994%.
7. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang Mulyosari di bus 63, level tegangan pada seluruh bus mengalami peningkatan hingga 0,9524 dimana tegangan terendah berada pada bus 59 sebesar 0,9503 pu dengan drop tegangan sebesar 4,916 %
8. Pada sistem jaringan distribusi radial drop tegangan dipengaruhi dari kapasitas beban. Semakin tinggi kapasitas beban yang harus

dilayani maka semakin besar arus saluran yang mengalir sehingga drop tegangan menjadi besar. Jika nilai dari drop tegangan di bus pada sistem jaringan distribusi semakin besar maka nilai indeks kestabilan pada bus tersebut semakin kecil yang menunjukkan bahwa bus tersebut adalah bus yang terlemah atau bus yang paling kritis.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Metode *Voltage Stability Index* (VSI) dapat digunakan untuk monitoring sistem jaringan distribusi radial untuk menjaga tingkat kestabilan tegangan.
2. Pada analisa kestabilan tegangan tegangan untuk selanjutnya dapat dikembangkan dengan adanya pemasangan tranformator pada jaringan distribusi radial.
3. Untuk penempatan pemasangan kapasitor secara optimal dapat dipelajari lebih lanjut dengan menggunakan metode yang lainnya.

LAMPIRAN

I. Hasil Running Program

- a. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa IEEE 33 Bus
Sebelum Pemasangan Kapasitor

Maximum Power Mismatch = 3.53814e-009

No. of Iterations = 11

Bus No.	Voltage (p.u)	VSI (p.u)	Drop Voltage %	Voltage Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	12.660
2	0.9936	0.974	0.640	12.579
3	0.9631	0.860	3.691	12.193
4	0.9466	0.803	5.336	11.984
5	0.9303	0.748	6.973	11.777
6	0.8897	0.626	11.032	11.263
7	0.8820	0.605	11.804	11.166
8	0.8712	0.576	12.876	11.030
9	0.8572	0.540	14.278	10.852
10	0.8442	0.508	15.576	10.688
11	0.8423	0.503	15.769	10.664
12	0.8390	0.495	16.105	10.621
13	0.8252	0.463	17.483	10.447
14	0.8200	0.452	17.997	10.382
15	0.8168	0.444	18.318	10.341
16	0.8137	0.438	18.628	10.302
17	0.8091	0.427	19.092	10.243
18	0.8077	0.424	19.229	10.226
19	0.9925	0.972	0.746	12.566
20	0.9853	0.943	1.468	12.474
21	0.9839	0.937	1.611	12.456
22	0.9826	0.932	1.740	12.440
23	0.9557	0.834	4.433	12.099
24	0.9419	0.787	5.813	11.924
25	0.9350	0.764	6.503	11.837
26	0.8854	0.614	11.463	11.209
27	0.8796	0.598	12.037	11.136
28	0.8541	0.531	14.595	10.812
29	0.8356	0.487	16.435	10.579
30	0.8276	0.468	17.238	10.478
31	0.8183	0.448	18.167	10.360
32	0.8163	0.443	18.372	10.334
33	0.8157	0.442	18.435	10.326

b. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa IEEE 33 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 18

Maximum Power Mismatch = 6.63282e-009

No. of Iterations = 10

Bus	Voltage		VSI		Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)		(p.u)		%	Magnitd
1	1.0000		1.000		0.000	12.660
2	0.9950		0.980		0.502	12.597
3	0.9719		0.892		2.815	12.304
4	0.9608		0.851		3.917	12.164
5	0.9501		0.813		4.991	12.028
6	0.9219		0.720		7.814	11.671
7	0.9168		0.704		8.316	11.607
8	0.9160		0.700		8.403	11.596
9	0.9160		0.698		8.400	11.597
10	0.9171		0.698		8.290	11.611
11	0.9178		0.700		8.216	11.620
12	0.9195		0.704		8.047	11.641
13	0.9251		0.714		7.486	11.712
14	0.9269		0.715		7.309	11.735
15	0.9312		0.724		6.885	11.788
16	0.9374		0.738		6.257	11.868
17	0.9479		0.752		5.208	12.001
18	0.9554		0.767		4.461	12.095
19	0.9939		0.976		0.608	12.583
20	0.9867		0.948		1.329	12.492
21	0.9853		0.942		1.471	12.474
22	0.9840		0.937		1.599	12.458
23	0.9645		0.865		3.549	12.211
24	0.9508		0.817		4.915	12.038
25	0.9440		0.794		5.598	11.951
26	0.9177		0.706		8.229	11.618
27	0.9122		0.689		8.783	11.548
28	0.8876		0.617		11.241	11.237
29	0.8699		0.569		13.010	11.013
30	0.8621		0.548		13.786	10.915
31	0.8533		0.526		14.671	10.803
32	0.8513		0.522		14.865	10.778
33	0.8507		0.520		14.925	10.770

- c. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa IEEE 33 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 18 dan bus 33

Maximum Power Mismatch = 3.34571e-009
No. of Iterations = 9

Bus No.	Voltage (p.u.)	VSI (p.u.)	Drop Voltage %	Voltage Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	12.660
2	0.9967	0.987	0.334	12.618
3	0.9825	0.931	1.750	12.438
4	0.9781	0.913	2.194	12.382
5	0.9742	0.896	2.583	12.333
6	0.9607	0.840	3.925	12.163
7	0.9560	0.823	4.403	12.103
8	0.9551	0.818	4.493	12.091
9	0.9550	0.813	4.498	12.091
10	0.9560	0.811	4.402	12.103
11	0.9567	0.813	4.332	12.112
12	0.9583	0.817	4.173	12.132
13	0.9635	0.824	3.652	12.198
14	0.9651	0.823	3.492	12.218
15	0.9691	0.831	3.093	12.268
16	0.9750	0.844	2.501	12.343
17	0.9847	0.853	1.526	12.467
18	0.9918	0.867	0.820	12.556
19	0.9956	0.983	0.440	12.604
20	0.9884	0.954	1.159	12.513
21	0.9870	0.949	1.301	12.495
22	0.9857	0.944	1.429	12.479
23	0.9753	0.904	2.475	12.347
24	0.9618	0.855	3.824	12.176
25	0.9550	0.832	4.498	12.091
26	0.9602	0.837	3.981	12.156
27	0.9597	0.832	4.033	12.149
28	0.9537	0.799	4.630	12.074
29	0.9501	0.774	4.994	12.028
30	0.9511	0.769	4.889	12.041
31	0.9581	0.776	4.185	12.130
32	0.9610	0.778	3.897	12.167
33	0.9652	0.779	3.480	12.219

d. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa Penyulang Mulyosari 68 Bus
Sebelum Pemasangan Kapasitor

Maximum Power Mismatch = 2.12415e-009

No. of Iterations = 11

Bus	Voltage		VSI		Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)		(p.u)		%	Magnitd
1	1.0000		1.000		0.000	20.000
2	0.9852		0.941		1.477	19.705
3	0.9829		0.932		1.714	19.657
4	0.9814		0.926		1.862	19.628
5	0.9780		0.913		2.204	19.559
6	0.9740		0.898		2.596	19.481
7	0.9740		0.898		2.599	19.480
8	0.9740		0.898		2.598	19.480
9	0.9740		0.898		2.599	19.480
10	0.9693		0.880		3.074	19.385
11	0.9692		0.880		3.076	19.385
12	0.9692		0.880		3.076	19.385
13	0.9669		0.871		3.309	19.338
14	0.9561		0.830		4.387	19.123
15	0.9524		0.816		4.761	19.048
16	0.9491		0.804		5.086	18.983
17	0.9464		0.794		5.362	18.928
18	0.9464		0.794		5.363	18.927
19	0.9418		0.777		5.821	18.836
20	0.9381		0.764		6.188	18.762
21	0.9340		0.749		6.601	18.680
22	0.9309		0.738		6.910	18.618
23	0.9274		0.725		7.263	18.547
24	0.9271		0.724		7.288	18.542
25	0.9271		0.724		7.288	18.542
26	0.9271		0.724		7.292	18.542
27	0.9270		0.724		7.302	18.540
28	0.9269		0.724		7.309	18.538
29	0.9268		0.723		7.319	18.536
30	0.9268		0.723		7.323	18.535
31	0.9267		0.723		7.325	18.535
32	0.9267		0.723		7.326	18.535
33	0.9267		0.723		7.327	18.535
34	0.9268		0.723		7.324	18.535
35	0.9267		0.723		7.326	18.535
36	0.9267		0.723		7.327	18.535
37	0.9212		0.703		7.879	18.424
38	0.9212		0.703		7.879	18.424
39	0.9155		0.682		8.451	18.310

40	0.9155	0.682	8.452	18.310
41	0.9146	0.679	8.540	18.292
42	0.9147	0.680	8.530	18.294
43	0.9140	0.676	8.599	18.280
44	0.9123	0.669	8.774	18.245
45	0.9111	0.665	8.889	18.222
46	0.9105	0.663	8.947	18.211
47	0.9082	0.654	9.176	18.165
48	0.9082	0.654	9.177	18.165
49	0.9082	0.654	9.177	18.165
50	0.9054	0.642	9.460	18.108
51	0.9054	0.642	9.461	18.108
52	0.9012	0.626	9.880	18.024
53	0.9001	0.621	9.992	18.002
54	0.8998	0.620	10.019	17.996
55	0.8998	0.620	10.022	17.996
56	0.8998	0.620	10.023	17.995
57	0.8998	0.620	10.023	17.995
58	0.8990	0.617	10.099	17.980
59	0.8990	0.617	10.104	17.979
60	0.8989	0.617	10.106	17.979
61	0.8989	0.617	10.106	17.979
62	0.8989	0.617	10.106	17.979
63	0.8989	0.617	10.107	17.979
64	0.9273	0.727	7.269	18.546
65	0.9273	0.725	7.270	18.546
66	0.9273	0.725	7.270	18.546
67	0.9273	0.725	7.271	18.546
68	0.9273	0.725	7.271	18.546

- e. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 63

Maximum Power Mismatch = 9.52726e-009

No. of Iterations = 10

Bus	Voltage		VSI		Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)		(p.u)		%	Magnitd
1	1.0000		1.000		0.000	20.000
2	0.9916		0.966		0.836	19.833
3	0.9903		0.960		0.973	19.805
4	0.9894		0.957		1.056	19.789
5	0.9875		0.949		1.247	19.751
6	0.9853		0.939		1.466	19.707
7	0.9853		0.939		1.469	19.706
8	0.9853		0.939		1.468	19.706
9	0.9853		0.939		1.469	19.706

10	0.9827	0.928	1.728	19.654
11	0.9827	0.928	1.730	19.654
12	0.9827	0.928	1.730	19.654
13	0.9814	0.923	1.855	19.629
14	0.9756	0.897	2.438	19.512
15	0.9736	0.888	2.639	19.472
16	0.9719	0.880	2.813	19.437
17	0.9704	0.873	2.961	19.408
18	0.9704	0.873	2.961	19.408
19	0.9680	0.861	3.204	19.359
20	0.9660	0.852	3.399	19.320
21	0.9638	0.842	3.618	19.276
22	0.9622	0.834	3.777	19.245
23	0.9604	0.825	3.958	19.208
24	0.9602	0.824	3.982	19.204
25	0.9602	0.824	3.982	19.204
26	0.9601	0.824	3.986	19.203
27	0.9600	0.824	3.996	19.201
28	0.9600	0.823	4.003	19.199
29	0.9599	0.823	4.011	19.198
30	0.9598	0.823	4.016	19.197
31	0.9598	0.823	4.018	19.196
32	0.9598	0.823	4.019	19.196
33	0.9598	0.823	4.019	19.196
34	0.9598	0.823	4.017	19.197
35	0.9598	0.823	4.019	19.196
36	0.9598	0.823	4.019	19.196
37	0.9575	0.809	4.254	19.149
38	0.9575	0.809	4.254	19.149
39	0.9547	0.794	4.527	19.095
40	0.9547	0.794	4.528	19.094
41	0.9545	0.792	4.554	19.089
42	0.9540	0.792	4.602	19.080
43	0.9543	0.791	4.571	19.086
44	0.9538	0.786	4.622	19.076
45	0.9535	0.783	4.654	19.069
46	0.9533	0.781	4.670	19.066
47	0.9527	0.775	4.733	19.053
48	0.9527	0.775	4.734	19.053
49	0.9527	0.775	4.734	19.053
50	0.9519	0.768	4.810	19.038
51	0.9519	0.768	4.810	19.038
52	0.9508	0.756	4.918	19.016
53	0.9505	0.752	4.947	19.011
54	0.9505	0.751	4.954	19.009
55	0.9504	0.751	4.957	19.009
56	0.9504	0.751	4.958	19.008
57	0.9504	0.751	4.957	19.009
58	0.9503	0.749	4.972	19.006
59	0.9508	0.751	4.916	19.017

60	0.9508	0.750	4.918	19.016
61	0.9508	0.750	4.919	19.016
62	0.9518	0.753	4.819	19.036
63	0.9524	0.755	4.760	19.048
64	0.9604	0.825	3.964	19.207
65	0.9604	0.825	3.965	19.207
66	0.9604	0.825	3.965	19.207
67	0.9603	0.825	3.965	19.207
68	0.9603	0.825	3.966	19.207

- e. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 68

Maximum Power Mismatch = 8.91866e-009

No. of Iterations = 10

Bus	Voltage	VSI	Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)	(p.u)	%	Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	20.000
2	0.9950	0.979	0.500	19.900
3	0.9942	0.975	0.585	19.883
4	0.9937	0.973	0.634	19.873
5	0.9925	0.967	0.746	19.851
6	0.9913	0.961	0.874	19.825
7	0.9912	0.961	0.878	19.824
8	0.9912	0.961	0.877	19.825
9	0.9912	0.961	0.878	19.824
10	0.9898	0.954	1.024	19.795
11	0.9897	0.954	1.026	19.795
12	0.9897	0.954	1.026	19.795
13	0.9891	0.950	1.095	19.781
14	0.9858	0.932	1.418	19.716
15	0.9847	0.926	1.529	19.694
16	0.9838	0.920	1.624	19.675
17	0.9830	0.915	1.704	19.659
18	0.9830	0.915	1.704	19.659
19	0.9816	0.907	1.835	19.633
20	0.9806	0.900	1.940	19.612
21	0.9794	0.892	2.057	19.589
22	0.9786	0.886	2.138	19.572
23	0.9777	0.880	2.229	19.554
24	0.9775	0.879	2.252	19.550
25	0.9775	0.879	2.252	19.550
26	0.9774	0.879	2.256	19.549
27	0.9773	0.878	2.265	19.547
28	0.9773	0.878	2.272	19.546
29	0.9772	0.878	2.281	19.544

30	0.9772	0.878	2.285	19.543
31	0.9771	0.878	2.287	19.543
32	0.9771	0.878	2.288	19.542
33	0.9771	0.878	2.289	19.542
34	0.9771	0.878	2.286	19.543
35	0.9771	0.878	2.288	19.542
36	0.9771	0.878	2.289	19.542
37	0.9718	0.853	2.819	19.436
38	0.9718	0.854	2.820	19.436
39	0.9663	0.829	3.368	19.326
40	0.9663	0.830	3.369	19.326
41	0.9655	0.825	3.454	19.309
42	0.9656	0.827	3.442	19.312
43	0.9649	0.823	3.511	19.298
44	0.9632	0.814	3.680	19.264
45	0.9621	0.809	3.792	19.242
46	0.9615	0.806	3.847	19.231
47	0.9593	0.796	4.069	19.186
48	0.9593	0.796	4.070	19.186
49	0.9593	0.796	4.070	19.186
50	0.9566	0.782	4.344	19.131
51	0.9566	0.782	4.345	19.131
52	0.9525	0.762	4.750	19.050
53	0.9514	0.757	4.858	19.028
54	0.9512	0.756	4.885	19.023
55	0.9511	0.756	4.888	19.022
56	0.9511	0.756	4.889	19.022
57	0.9511	0.756	4.888	19.022
58	0.9504	0.752	4.963	19.007
59	0.9503	0.752	4.966	19.007
60	0.9503	0.752	4.968	19.006
61	0.9503	0.752	4.969	19.006
62	0.9503	0.752	4.969	19.006
63	0.9503	0.752	4.970	19.006
64	0.9814	0.893	1.864	19.627
65	0.9813	0.891	1.865	19.627
66	0.9835	0.898	1.649	19.670
67	0.9857	0.905	1.434	19.713
68	0.9894	0.917	1.065	19.787

ABSTRACT

Voltage drop can occur in the power system due to loss of voltage stability of the power system when the critical load conditions or the heaviest burden during which the voltage decreases immediately thus causing the outage or blackout on the system. In this research will be discussed on the analysis of voltage stability in radial distribution networks using IEEE 33 bus distribution system and distribution system Mulyosari 68 feeder buses in PT. PLN APJ North Surabaya to determine where to place the capacitor so as to reduce the voltage drop across the system and increase the stability index on each bus. Simulations were performed using the Voltage Stability Index to get the index value on each bus. Thus it can be determined where to place the capacitor to increase the voltage on each bus and prevent voltage collapse on radial distribution network based on the lowest index value.

Keyword : *Voltage Stability, Radial Distribution Network, Shunt Capacitor, Critical Loading Conditions, Voltage Collapse, Voltage Stability Index*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **"Peningkatan Nilai Indeks Stabilitas Tegangan pada Kondisi Kritis Dengan Menggunakan Kapasitor Shunt"**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri-Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT atas limpahan kasih sayang, ridho, petunjuk, rahmat karunia-Nya.
2. Bapak Budi, Ibu Kisti selaku orang tua penulis, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan studi dan Anggi yang tiap saat memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, PhD dan Ir. Teguh Yuwono. sebagai dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, petunjuk dan perhatiannya dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Dimas Fajar Uman Putra, ST., MT. yang telah banyak memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis selama penyelesaian Tugas Akhir.
5. Teman-teman seperjuangan Risqi, Novian, Indro, Samsu, Alfian. Serta keluarga besar Power LJ Galat 2013.
6. Keluarga Besar Lab. B103 Kharismawan, Khakim, Surya, Yaqin, Ayla dan Nani.
7. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya selama kuliah, karyawan, dan keluarga besar Jurusan Teknik Elektro ITS yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa maupun peneliti. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan, untuk itu kritik dan saran diharapkan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2015
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika	3
1.7 Relevansi	4

BAB II STUDI ALIRAN DAYA DAN KESTABILAN TEGANGAN

2.1 Sistem Distribusi	5
2.1.1. Sistem Distribusi Radial	6
2.1.2. Sistem Distribusi Mesh	7
2.1.3. Sistem Distribusi Spindel	8
2.1.4. Sistem Distribusi Ring	9
2.2 Studi Aliran Daya	9
2.2.1. Daya Listrik	10
2.2.2. Persamaan Aliran Daya	11
2.3 Definisi Kestabilan Tegangan	13
2.3.1. Analisa pada Stabilitas Tegangan	14
2.3.2. Analisa Kestabilan Tegangan dengan Kurva P-V	15
2.3.3. Analisa Kestabilan Tegangan berdasarkan VSI (<i>Voltage Stability Index</i>) pada Jaringan Distribusi Satu Fasa	16
2.3 Kapasitor Shunt	18

BAB III PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

3.1 Pengumpulan Data	20
3.2 Analisis Aliran Daya	27
3.2.1. Metode K-Matrik.....	27
3.3 <i>Voltage Stability Index</i> (VSI)	30
3.4 Penempatan Kapasitor	31
3.5 Ukuran Kapasitor.....	31

BAB IV SIMULASI DAN ANALISA DATA

4.1 Hasil Simulasi	33
4.1.1 Sistem IEEE 33 bus	33
4.1.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus	40
4.2 Analisis Aliran Daya	51
4.2.1 Sistem IEEE 33 bus	52
4.2.2 Penyulang Mulyosari 68 Bus	53

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

RIWAYAT HIDUP PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data IEEE 33 Bus	22
Tabel 3.2 Data Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN APJ Surabaya Utara	25
Tabel 4.1 Hasil <i>Load Flow</i> Data IEEE 33 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor	34
Tabel 4.2 Hasil <i>Load Flow</i> Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18	36
Tabel 4.3 Hasil <i>Load Flow</i> Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan Bus 33	38
Tabel 4.4 Nilai Kapasitor Bus 18 dan 33 pada Sistem.....	40
Tabel 4.5 Hasil <i>Load Flow</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor	41
Tabel 4.6 Hasil <i>Load Flow</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63	44
Tabel 4.7 Hasil <i>Load Flow</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68	48
Tabel 4.8 Nilai Kapasitor Bus 63 dan 68 pada Sistem.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Penyaluran Daya Listrik.....	5
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial	7
Gambar 2.3 Sistem Distribusi Mesh	8
Gambar 2.4 Jaringan Spindel	8
Gambar 2.5 Sistem Distribusi Ring	9
Gambar 2.6 Segitiga Daya	11
Gambar 2.7 Penggambaran Bus Secara Umum pada Sistem Tenaga Listrik	12
Gambar 2.8 Karakteristik dan Bentuk Kurva P-V	15
Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen dari Jaringan Dua Bus	16
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Sistem	20
Gambar 3.2 Sistem IEEE 33 Bus	21
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN APJ Surabaya Utara	24
Gambar 3.4 Contoh <i>Single Line Diagram</i> dalam Pembentukan Nilai K-Matrik	28
Gambar 4.1 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor	35
Gambar 4.2 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18	37
Gambar 4.3 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan Bus 33	40
Gambar 4.4 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor	44
Gambar 4.5 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63	47
Gambar 4.6 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68	51
Gambar 4.7 Perbandingan <i>Stability Index</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE	52
Gambar 4.8 Perbandingan <i>Voltage System</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE	53

Gambar 4.9 Perbandingan <i>Stability Index</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyulang Mulyosari 68 Bus	54
Gambar 4.10 Perbandingan <i>Voltage System</i> Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyulang Mulyosari 68 Bus.....	55

BIOGRAFI PENULIS



Widhianto Setyawan dan biasa dipanggil Ivan lahir di Mojokerto pada tanggal 07 Agustus 1992. Penulis memulai jenjang pendidikannya di SDN Purwotengah II Mojokerto hingga lulus tahun 2004. Setelah itu penulis melanjutkan studinya di SMP Negeri 2 Mojokerto. Tahun 2007, penulis diterima sebagai murid SMA Negeri 1 Puri Mojokerto hingga lulus tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro Program Studi Computer Control, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tahun 2012 pernah Kerja Praktek di PT. Telkom Indonesia (Persero) di bagian Network and Maintenance, Surabaya, Jawa Timur. Dan saat ini penulis sedang menyelesaikan studi Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya lewat program Lintas Jalur dengan NRP 2213105088 dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Pada tahun 2014 penulis pernah Kerja Praktek di PT. Angkasa Pura I Bandar Udara Internasional Juanda di bagian Electrical Engineering, Surabaya, Jawa Timur. Praktikan hobi jalan-jalan atau travelling dan bermain dota dan jika ada keperluan bisa menghubungi di email widi.ants@gmail.com



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem jaringan distribusi radial penting dalam sistem tenaga listrik dikarenakan sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan listrik ke beban (pelanggan). Semakin banyaknya beban pada jaringan distribusi maka semakin banyak permintaan daya yang di butuhkan sehingga hal ini dapat menyebabkan pemadaman jika pada sisi pembangkit tidak dapat memenuhinya. *Drop* tegangan dapat terjadi pada sistem tenaga listrik dikarenakan hilangnya stabilitas tegangan pada jaringan distribusi radial. Dengan menggunakan analisa stabilitas tegangan yaitu dengan studi aliran daya (*Load flow*) maka dapat mengetahui *drop* tegangan yang besar pada jaringan distribusi sehingga terhindar dari *black out* atau pemadaman pada sistem jaringan distribusi.

Tugas akhir ini di buat dengan menganalisa tegangan tiap bus pada jaringan distribusi dengan kondisi beban kritis dengan menggunakan data *33-bus IEEE* dan data penyulang Mulyosari 68 bus PT. PLN API Surabaya Utara. Untuk mengetahui nilai indeks stabilitas tegangan pada tiap bus di gunakan analisa stabilitas tegangan dengan metode *Voltage Stability Index (VSI)*. Metode ini di gunakan untuk mengetahui nilai indeks tegangan yang terendah pada tiap bus atau pada bus yang kritis. Dengan mengetahui nilai indeks yang terendah maka dapat di tentukan penempatan lokasi pemasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks stabilitas tegangan. Nilai indeks terendah merupakan nilai dimana bus tersebut paling tidak stabil dalam suatu sistem jaringan distribusi radial.

1.2 Perumusan Masalah

Pada perumusan masalah yang akan di bahas dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Bagaimana mendapatkan nilai *drop* tegangan dengan menggunakan analisa aliran daya (*load flow*) dan menganalisa kestabilan tegangan dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
2. Bagaimana menentukan lokasi penempatan kapasitor berdasarkan indeks tegangan dari metode *Voltage Stability Index (VSI)*

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi dengan asumsi sebagai berikut :

1. Analisa *load flow* sebelum dan sesudah penempatan kapasitor.
2. Metode yang digunakan adalah *Voltage Stability Index (VSI)* untuk menentukan lokasi pemasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks terendah.
3. Analisa *load flow* menggunakan Matlab R2007b
4. Meningkatkan tegangan pada sistem dengan penempatan kapasitor yang efektif

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Menghitung analisa aliran daya satu fasa pada sistem jaringan distribusi radial.
2. Mengetahui nilai tegangan tiap bus pada jaringan distribusi radial dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
3. Mendapatkan nilai indeks tegangan dari bus terlemah berdasarkan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
4. Mengetahui lokasi penempatan kapasitor untuk jaringan distribusi radial sehingga dapat meningkatkan level tegangan pada sistem.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literature
Melakukan pengumpulan data dari berbagai buku literatur, buku tugas akhir, artikel-artikel yang berkaitan, dan jurnal dari IEEE. Untuk mengetahui analisis studi aliran daya pada sistem distribusi radial, dan mengetahui metode yang di gunakan pada penelitian tugas akhir ini dalam sistem tenaga listrik.
2. Pengambilan data
Data yang diambil untuk Tugas Akhir ini berupa data bus jaringan distribusi radial satu fasa, data tersebut diambil dari IEEE dan data penyulang Mulyosari 68 bus satu fasa dari PT. PLN APJ Surabaya Utara yang digunakan sebagai data awal dalam simulasi sebelum adanya penempatan kapasitor.
3. Permodelan sistem dan simulasi program

Membuat permodelan untuk sistem jaringan distribusi radial satu fasa. Melakukan simulasi studi aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan *Software* MATLAB R2007b. Dari hasil simulasi maka akan di dapatkan parameter tegangan dan arus pada tiap bus sehingga parameter tersebut akan digunakan dalam menghitung *Voltage Stability Index (VSI)* dan setelah itu akan di dapatkan nilai indeks stabilitas tegangan pada tiap bus. Berdasarkan nilai indeks stabilitas tegangan maka dapat di tentukan untuk lokasi penempatan pemasangan kapasitor guna meningkatkan level tegangan pada sistem jaringan distribusi radial berdasarkan nilai indeks tegangan terendah yang menandakan bahwa bus tersebut tidak stabil.

4. Penulisan laporan Tugas Akhir
Sebagai hasil akhir dari penelitian maka dilakukan penulisan laporan dalam bentuk buku Tugas Akhir dan pengambilan kesimpulan dari hasil tugas akhir yang dapat di gunakan sebagai referensi untuk tugas akhir berikutnya.

1.6 Sistematika

Sistematika dalam penulisan Tugas Akhir ini dapat di bagi menjadi 5 bagian antara lain sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, dan relevansi.

BAB II : TEORI PENUNJANG

Bab ini secara garis besar membahas tentang sistem distribusi tenaga listrik, jaringan distribusi radial, analisa aliran daya dalam sistem distribusi radial, analisa stabilitas tegangan dengan *voltage stability index* untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor pada sistem distribusi satu fasa 33-bus dan 68 bus

BAB III : PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

Bab ini berisikan tentang rancangan suatu sistem distribusi satu fasa (33 bus dan 68 bus) dan rancangan program analisa aliran daya (*load flow*) yang menggunakan metode *forward-backward* serta *voltage*

stability index untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor.

BAB IV : SIMULASI DAN ANALISA DATA

Pada bab ini berisi tentang hasil dari simulasi *load flow single phase* dan program *voltage stability index* untuk menentukan lokasi penempatan pemasangan kapasitor.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa data dan simulasi program *voltage stability index* untuk penentuan lokasi penempatan pemasangan kapasitor.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dalam penulisan tugas akhir ini di harapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan acuan kemampuan stabilitas tegangan pada tiap bus dari sistem jaringan distribusi radial satu fasa 33 bus dan 68 bus penyulang Mulyosari PT. PLN APJ Surabaya Utara
2. Dapat menjadi acuan untuk pemasangan lokasi kapasitor pada bus yang memiliki nilai indeks tegangan terendah berdasarkan metode *Voltage Stability Index (VSI)*.
3. Dapat menjadi referensi dasar untuk pengembangan metode *Voltage Stability Index (VSI)* yang lebih baik dan handal.

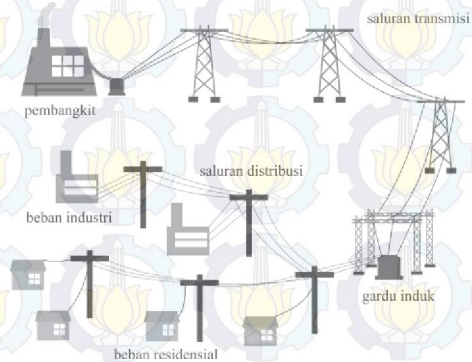
BAB II

STUDI ALIRAN DAYA DAN KESTABILAN TEGANGAN

2.1 Sistem Distribusi

Sistem distribusi tenaga listrik secara umum dapat di artikan proses penyaluran energi listrik dari sumber pembangkit tenaga listrik (*power station*) ke konsumen atau pelanggan. Proses penyaluran energi listrik ini diawali dengan pusat pembangkit yang menghasilkan energi listrik dengan tegangan dari 11kV sampai 24kV dan kemudian di salurkan ke jaringan transmisi yang di naikan tegangannya oleh gardu induk dengan menggunakan *transformator* penaik tegangan (*trafo step-up*) menjadi 70kV, 154kV, 220kV, 500kV. Tujuan dari menaikkan tegangan agar kerugian saat transmisi energi listrik dapat di kurangi sehingga memperkecil kerugian daya listrik pada saat proses penyaluran listrik.

Kemudian dari saluran transmisi, tegangan diturunkan dengan menggunakan *transformator* penurun tegangan pada gardu induk distribusi menjadi 150kV, 70kV kemudian diturunkan kembali menjadi 20kV. Penyaluran ini akan dilakukan oleh saluran distribusi primer yang nantinya pada gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk di turunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi tegangan rendah 220/380 Volt dan kemudian sistem distribusi sekunder siap untuk menyalurkan kepada konsumen (pelanggan). Untuk proses penyaluran daya listrik dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses Penyaluran Daya Listrik

Hal hal yang harus diperhatikan dalam menyalurkan tenaga listrik sampai ke pelanggan adalah sebagai berikut :

1) Regulasi tegangan

Variasi tegangan pelayanan (tegangan terminal konsumen) harus pada batas-batas yang diijinkan, maksimum 5 % dan minimum 5 %.

2) Kontinuitas pelayanan dan pengamanan

Tidak sering terjadinya pemadaman energi listrik yang dapat merugikan pelanggan dan jika terjadi gangguan harus dapat diatasi dengan cepat dan tepat. Hal tersebut dapat tercapai apabila memiliki konfigurasi sistem dan sistem pengamanan yang baik.

3) Efisiensi sistem distribusi energi listrik

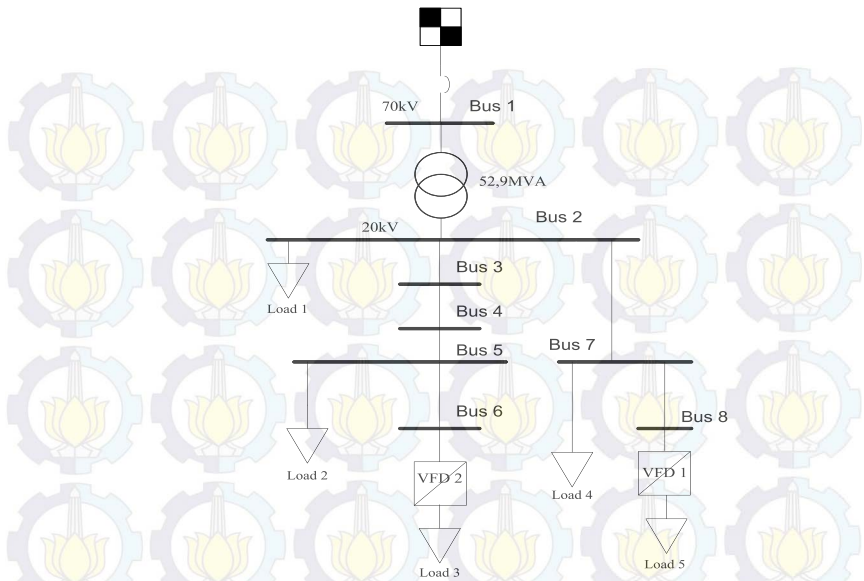
Menekan serendah mungkin rugi-rugi teknis dengan pemilihan peralatan dan pengoperasian yang lebih baik dan juga menekan rugi rugi non teknis dengan mencegah pencurian dan kesalahan dalam pengukuran.

4) Fleksibilitas terhadap penambahan beban

Untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber sampai ke pusat beban digunakan jarring tegangan menengah 20 KV.

2.1.1 Sistem Distribusi Radial

Sistem distribusi radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem distribusi ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang di pasang gardu-gardu distribusi untuk di salurkan ke konsumen. Gardu distribusi ini adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Keuntungan dari sistem distribusi radial ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibandingkan dengan sistem yang lainnya. Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan maka seluruh sistem akan ikut padam. Berikut ini adalah contoh dari jaringan distribusi radial.



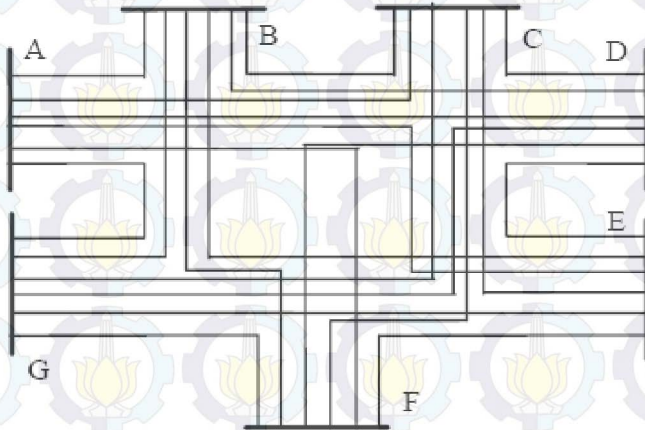
Gambar 2.2 Jaringan Distribusi Radial

Gambar 2.2 adalah *Single Line Diagram* (SLD) dari sistem distribusi radial. Kerugian dari sistem distribusi radial yang lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada pada ujung saluran sistem. Semakin besar beban pada tiap bus maka semakin besar pula tegangan jatuh yang dihasilkan[1].

2.1.2 Sistem Distribusi Mesh

Jaringan distribusi mesh adalah jaringan distribusi yang mengkombinasikan jaringan radial dan ring, sistem ini lebih baik dari sistem-sistem yang lain dan sistem ini digunakan jika daerah yang akan dilayani memiliki tingkat kepadatan konsumen yang sangat tinggi. Sistem penyaluran tenaga listrik dengan menggunakan sistem distribusi Mesh dilakukan secara terus-menerus dengan dua atau lebih feeder pada gardu-gardu induk dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik yang bekerja secara paralel. Sistem ini juga memiliki tingkat keandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem yang lainnya dan jumlah cabang yang

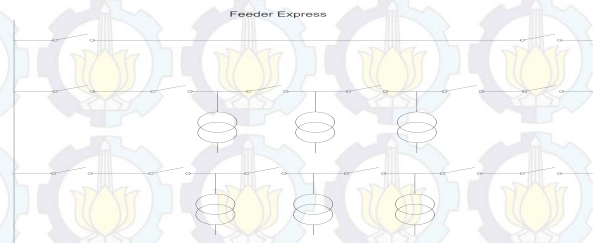
lebih banyak dari jumlah titik pada *feeder*. Karena merupakan gabungan, sistem ini memerlukan biaya investasi maupun perawatan yang tinggi. Selain biaya yang tinggi tingkat koordinasi alat pengaman juga sulit. Gambar dari jaringan distribusi mesh ditunjukkan oleh Gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 Sistem Distribusi Mesh

2.1.3 Jaringan Distribusi Spindel[2]

Dalam keadaan normal semua Pemutus (PMT) dan Pemisah (PMS) dari setiap *feeder* yang keluar dari GI dalam keadaan masuk kecuali PMT dan PMS *feeder* yang ada di Gardu Hubung(GH). Hanya PMT dan PMS dari *express feeder* di GH yang dalam keadaan masuk. Gambar dari jaringan distribusi spindel terlihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Jaringan Spindel

2.1.4 Sistem Distribusi Ring

Jaringan distribusi ring merupakan bentuk jaringan distribusi yang tertutup, susunan penyulang berbentuk cincin yang memungkinkan beban dilayani oleh dua sumber atau lebih. Dengan disuplai dari dua atau lebih sumber maka sistem ini dapat menjaga kelangsungan pelayanan jika terdapat gangguan pada sumber. tetapi jika beban yang akan dilayani bertambah kapasitas pelayanan akan menjadi jelek. Jaringan distribusi ring ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Sistem Distribusi Ring

2.2 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya adalah studi untuk menganalisa suatu sistem tenaga listrik bertujuan untuk menentukan besar dan sudut fase tegangan pada masing-masing bus. Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, faktor daya dan daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan sistem tenaga listrik pada keadaan pengoperasian normal.

Studi analisis aliran daya dapat dihitung secara manual maupun menggunakan *software computer*. Studi aliran daya ini dapat didefinisikan sebagai suatu studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya yang baik dalam bentuk tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif yang terdapat dalam suatu sistem kelistrikan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik maupun menganalisa kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Dengan menggunakan studi aliran daya maka didapatkan parameter-parameter untuk melakukan proses pemrograman selanjutnya.

Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah:

1. Untuk memeriksa tegangan dan sudut fasa masing-masing bus.

2. Untuk mengetahui besarnya tegangan pada tiap bus
3. Untuk menghitung aliran daya yang terdiri dari daya aktif, daya reaktif dan sudut fase

Terdapat 3 macam bus yang terdiri dari bagian-bagian tertentu, meliputi :

1. *Bus referensi (slack bus atau swing bus)*
Slack bus atau swing bus adalah bus yang digunakan sebagai referensi pada sistem dengan besar dan sudut fase yang tetap. Bus ini menambah kekurangan daya antara beban total dengan daya yang dibangkitkan yang disebabkan oleh rugi-rugi pada jaringan.
2. *Load bus (bus beban) atau P-Q bus*
Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif besarnya tetap. Besar dan sudut fase tegangan nilainya tidak di ketahui.
3. *Generator bus (Q-V bus)*
Pada bus ini daya aktif dan besar tegangannya tetap. Sedangkan sudut fase dan besar daya reaktif dihitung, besar batasan daya reaktif juga ditentukan sebelumnya.

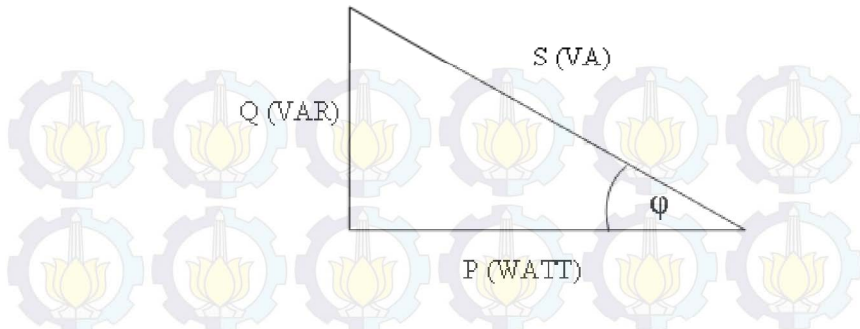
2.2.1 Daya listrik

Daya listrik dapat dibagi menjadi daya 3 jenis yaitu daya aktif, daya reaktif, dan daya total

Daya aktif adalah daya yang dihasilkan dari energi yang nyata dan digunakan untuk melakukan energi yang nyata pula. Pada prinsipnya daya aktif dibangkitkan dari proses konversi energi primer seperti energi panas, energi mekanik, ataupun energi potensial. Daya aktif disimbolkan dengan “P” dan dinyatakan dalam satuan Watt.

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk membangkitkan medan magnet. Pada prinsipnya daya reaktif dihasilkan dari pembangkitan medan listrik pada generator sinkron melalui sistem eksitasinya. Daya reaktif disimbolkan dengan “Q” dan dinyatakan dalam satuan VAR. Daya total adalah daya yang dihasilkan dari perkalian antara arus dan tegangan, disimbolkan dengan “S” dan dinyatakan dalam satuan VA.

Dalam mendefinisikan hubungan antara tiga daya tersebut, digunakan teori segitiga daya.



Gambar 2.6 Segitiga daya

Dari gambar segitiga daya di atas dapat disimpulkan hubungan antara ketiganya sebagai berikut :

$$S = V \times I$$

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

$$Q = V \times I \times \sin \varphi$$

$\cos \varphi$ merupakan sudut yang merepresentasikan hubungan antara ketiga daya tersebut. Dalam sistem tenaga listrik, $\cos \varphi$ merupakan parameter penting yang biasa disebut dengan faktor daya. $\cos \varphi$ juga menunjukkan adanya perbedaan sudut antara gelombang tegangan dan gelombang arus dalam fungsi waktu. Apabila suatu beban memiliki karakteristis gelombang arus yang tertinggal maka beban tersebut memiliki nilai $\cos \varphi$ negatif atau disebut dengan *lagging*. Namun, apabila suatu beban memiliki karakteristis gelombang arus yang mendahului gelombang tegangan maka beban tersebut memiliki nilai $\cos \varphi$ positif atau disebut dengan *leading*.

2.2.2 Persamaan Aliran Daya

Berdasarkan hukum *Kirchhoff* arus, hubungan antara besar tegangan bus dan arus dinyatakan dalam persamaan titik tegangan .

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.1)$$

Persamaan diatas jika dinyatakan ke dalam bentuk matriks admitansi, maka dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

n = jumlah total titik

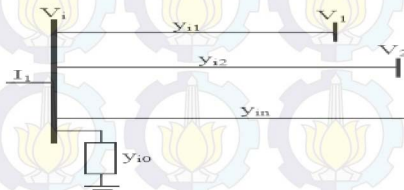
Y_{11} = admitansi sendiri dari titik i

Y_{21} = mutual admitansi dari titik i dan j

V_i = tegangan fasor pada titik i

I_i = arus fasor yang mengalir ke titik i

Penggambaran bus secara umum pada suatu jaringan sistem tenaga listrik diberikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penggambaran Bus Secara Umum pada Sistem Tenaga Listrik

Penerapan hukum *Kirchhoff* arus pada sistem tersebut menghasilkan

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \end{aligned} \quad (2.3)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.4)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.6)$$

Substitusi nilai I_i pada 2.2 menghasilkan

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.7)$$

Persamaan aliran daya tersebut diselesaikan dengan menggunakan suatu proses ulangan (metode iterasi) dengan menetapkan nilai-nilai perkiraan untuk tegangan bus yang tidak diketahui dan menghitung suatu nilai baru untuk setiap tegangan bus dari nilai-nilai perkiraan pada bus-bus yang lain, daya nyata dan daya reaktif yang ditentukan atau besarnya tegangan sehingga diperoleh suatu himpunan baru untuk nilai tegangan setiap bus dan digunakan kembali untuk menghitung himpunan tegangan bus yang baru. Setiap perhitungan suatu himpunan tegangan yang baru tersebut dinamakan iterasi. Proses iterasi ini diulang terus-menerus hingga perubahan yang terjadi pada setiap bus kurang dari suatu nilai minimum yang telah ditentukan.

Beberapa penelitian dan pengembangan pemodelan matematis saluran distribusi dikenal beberapa metode analisis aliran daya pada saluran distribusi. Salah satu metode yang banyak digunakan dan dikembangkan adalah metode *network topology*. Metode *network topology* merupakan metode analisis aliran daya dengan menggunakan prinsip hukum Kirchoff. Metode *network topology* digunakan untuk menghitung nilai tegangan pada sistem jaringan distribusi radial dengan cara menghitung besar arus yang mengalir pada cabang dimulai dari beban terujung hingga menuju *infinite bus*. Kemudian arus yang mengalir di tiap cabang dikalikan dengan impedansi saluran untuk mendapatkan besar drop tegangan. Dengan melakukan perhitungan drop tegangan pada tiap saluran dan cabang sistem distribusi radial tersebut, tegangan pada tiap bus transformator distribusi dapat diketahui.

2.3 Definisi Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem tenaga listrik untuk dapat mempertahankan level tegangan pada

semua cabang (*node*) dalam kondisi normal setelah sistem mengalami kondisi gangguan[3]. Sistem dikatakan tidak stabil saat terjadi gangguan maupun penambahan beban sehingga dapat menyebabkan drop tegangan di bus pada sistem karena kurangnya suplai daya reaktif dari sisi pembangkit. Gangguan tersebut bisa dibagi menjadi dua yaitu :

1. Gangguan kecil, merupakan gangguan yang bersifat linear, sifatnya acak (*random*), dan berupa perubahan beban maupun pembangkit.
2. Gangguan besar, merupakan gangguan yang berupa kejutan tegangan pada masing-masing bus diakibatkan gangguan yang besar sehingga harus segera dilakukan tindakan untuk menghilangkan gangguan tersebut yang bersifat kritis.

Tegangan jatuh (*voltage collapse*) diakibatkan adanya kenaikan beban yang sangat besar pada sistem tenaga listrik sehingga tegangan pada masing-masing bus menjadi turun. Keadaan ini muncul dalam peristiwa yang berurutan yang secara bersamaan dengan ketidakstabilan tegangan yang dapat menyebabkan pemadaman (*blackout*) pada sistem tenaga listrik. Hal ini dapat diminimalkan dengan melakukan pengontrolan dengan menggunakan perangkat kapasitor bank dan pembatasan beban.

2.3.1 Analisa pada Stabilitas Tegangan

Metode yang digunakan untuk melakukan analisa stabilitas tegangan adalah metode yang berdasarkan analisa dinamik dan analisa statis.

1. Analisa Dinamik

Simulasi yang terdiri dari serangkaian persamaan diferensial dan aljabar pada permodelan sistem tenaga listrik [3]. Kondisi ini sama dengan kondisi transien, simulasi yang digunakan sangat membutuhkan banyak waktu dan hasil yang didapatkan tidak dapat memberikan solusi tentang tingkat kestabilan.

2. Analisa Statis

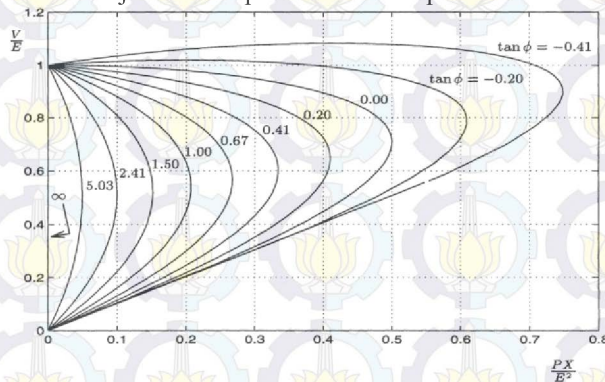
Simulasi yang terdiri dari serangkaian persamaan aljabar yang mewakili sistem dalam kondisi stabil atau kondisi *steady state* [3], yang bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan titik *equilibrium* yang diwakili dengan kondisi sistem pengoperasian untuk menentukan nilai tegangan yang kritis dari sistem tersebut. Keuntungan dari analisa statis adalah

memberikan sebuah informasi tentang identifikasi dari factor pada permasalahan ketidakstabilan. Dengan menggambar kurva P-V dan menentukan nilai dari indeks kestabilan tegangan pada masing-masing bus dapat membantu untuk menganalisa batas dari kestabilan tegangan pada sistem tenaga listrik. Pada sebuah tahap dengan melakukan penambahan beban dengan adanya gangguan.

2.3.2 Analisa Kestabilan Tegangan dengan Kurva P-V

Pada analisa kestabilan tegangan tidak terlepas dari kurva daya dimana kurva P-V merupakan kurva yang menunjukkan perbandingan serta kinerja dari sistem dalam memberikan daya ke beban maupun level tegangan masing-masing bus pada sistem. Gambar 2.9 menunjukkan karakteristik dari kurva P-V dalam keadaan normal. Daya maksimum terjadi pada saluran ketika magnitude impedansi beban sama dengan magnitude pada impedansi sumber. Pada saat impedansi beban lebih tinggi maka akan terjadi kenaikan tegangan dan kenaikan arus pada sistem tersebut.

Analisa kestabilan berdasarkan kurva P-V adalah analisa transfer daya aktif pada sistem dan dari analisa tersebut dapat diketahui nilai besar pembebanan yang harus di berikan ke beban. Kurva P-V memiliki titik kritis pembebanan (*critical point*), dimana sistem akan bekerja maksimal menyentuh titik kritis jika berada pada maksimum pembebanan.



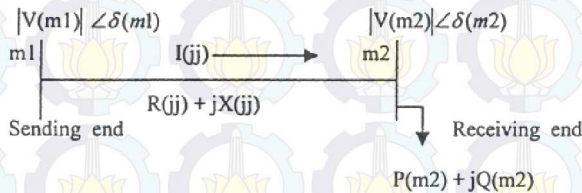
Gambar 2.8 Karakteristik dan Bentuk Kurva P-V

Penentuan titik kritis ketika terjadi kenaikan beban sangatlah penting dikarenakan dapat menyebabkan tegangan jatuh (*voltage collapse*) pada sistem tenaga listrik.

2.3.3 Analisa Kestabilan Tegangan berdasarkan VSI (*Voltage Stability Index*) pada Jaringan Distribusi Satu Fasa

Analisis pada jaringan distribusi satu fasa berdasarkan penambahan beban aktif akan mempengaruhi nilai dari level tegangan yang mendekati nilai titik kritis (*critical point*). Nilai titik kritis ini terjadi dimana semakin tinggi daya beban pada sistem maka semakin tinggi pula tegangan kritisnya. Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan titik kritis pada tiap bus dengan mengetahui nilai indeks stabilitas tegangan dengan menggunakan VSI (*Voltage Stability Indeks*).

Dengan menggunakan VSI (*Voltage Stability Indeks*) dapat mengidentifikasi bus yang terlemah pada jaringan distribusi satu fasa. Untuk menghitung nilai dari VSI pada jaringan distribusi satu fasa maka dapat dihitung berdasarkan studi aliran daya dengan menggunakan metode *network topology*. Pada gambar 2.9 akan dijelaskan rangkaian ekuivalen dari jaringan dua bus seimbang.



Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen dari Jaringan Dua Bus

Dari gambar 2.9 maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$I(jj) = \frac{V(m1) - V(m2)}{r(jj) + jx(jj)} \quad (2.8)$$

Dimana $I(jj)$ adalah arus pada cabang, $V(m1)$ dan $V(m2)$ adalah tegangan pada bus dari sisi pengirim dan sisi penerima. Sedangkan $r(jj) + jx(jj)$ adalah nilai dari impedansi. Sehingga nilai daya S pada bus penerima dapat di rumuskan sesuai dengan persamaan (2.9).

$$P(m2) + jQ(m2) = V * (m2)I(jj) \quad (2.9)$$

Dimana $P(m2)$ adalah total daya aktif pada bus dan $Q(m2)$ adalah total daya reaktif pada bus. Dari persamaan (2.8) dan (2.9) maka didapatkan :

$$|V(m2)|^4 - \{|V(m1)|^2 - 2P(m2)r(jj) - 2Q(m2)x(jj)\}|V(m2)|^2 + \{P^2(m2) + Q^2(m2)\{r^2(jj) + x^2(jj)\} = 0 \quad (2.10)$$

Maka dari persamaan (2.10) dapat disederhanakan dan diasumsikan menjadi variabel berikut.

$$b(jj) = |V(m1)|^2 - 2P(m2)r(jj) - 2Q(m2)x(jj) \quad (2.11)$$

$$c(jj) = \{P^2(m2) + Q^2(m2)\{r^2(jj) + x^2(jj)\} \quad (2.12)$$

Dari data yang ada, untuk P, Q, r, x, V di jadikan satuan per unit (p.u). untuk nilai $b(jj)$ harus selalu positif. Maka dari persamaan diatas dapat menentukan nilai rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada tiap bus dengan persamaan (2.13)

$$LP(jj) = \frac{r(jj)\{P^2(m2) + Q^2(m2)\}}{|V(m2)|^2}$$

$$LQ(jj) = \frac{x(jj)\{P^2(m2) + Q^2(m2)\}}{|V(m2)|^2} \quad (2.13)$$

$$b^2(jj) - 4.0c(jj) \geq 0 \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.11), (2.12) dan (2.14) maka didapatkan persamaan untuk mendapatkan nilai VSI (*Voltage Stability Index*) sebagai berikut :

$$|V(m1)|^2 - 2P(m2)r(jj) - 2Q(m2)x(jj)^2 - 4.0\{P^2(m2) + Q^2(m2)\{r^2(jj) + x^2(jj)\} \geq 0$$

Setelah disederhanakan maka didapatkan :

$$|V(m1)|^4 - 4.0P(m2)x(jj) - Q(m2)r(jj)^2 - 4.0\{P(m2)r(jj) + Q(m2)x(jj)\}|V(m1)|^2 \geq 0 \quad (2.15)$$

Sehingga untuk merumuskan nilai dari *Voltage Stability Index (VSI)* didapatkan persamaan berikut :

$$SI(m2) = \{|V(m1)|^4 - 4.0P(m2)x(jj) - Q(m2)r(jj)^2 - 4.0\{P(m2)r(jj) + Q(m2)x(jj)\}|V(m1)|^2 \quad (2.16)$$

Dimana $SI(m2)$ adalah *Voltage Stability Index (VSI)* pada bus penerima (bus-2) dengan $m2 = 2,3,4\dots$

Untuk nilai *Voltage Stability Index* harus ≥ 0

2.4 Kapasitor Shunt

Kapasitor Shunt merupakan kapasitor yang dihubungkan secara parallel dan digunakan untuk kompensasi beban induktif dan untuk pengaturan tegangan. Pemasangan kapasitor sangat penting untuk penyediaan daya reaktif dari sebuah sistem daya. Aplikasi dari kapasitor biasa digunakan untuk memperbaiki factor daya pada sistem jaringan tenaga listrik, mengurangi rugi-rugi (*losses*) pada jaringan, meningkatkan tegangan dan memperbaiki stabilitas tegangan sehingga tegangan pada sistem dapat jadi lebih baik

BAB III

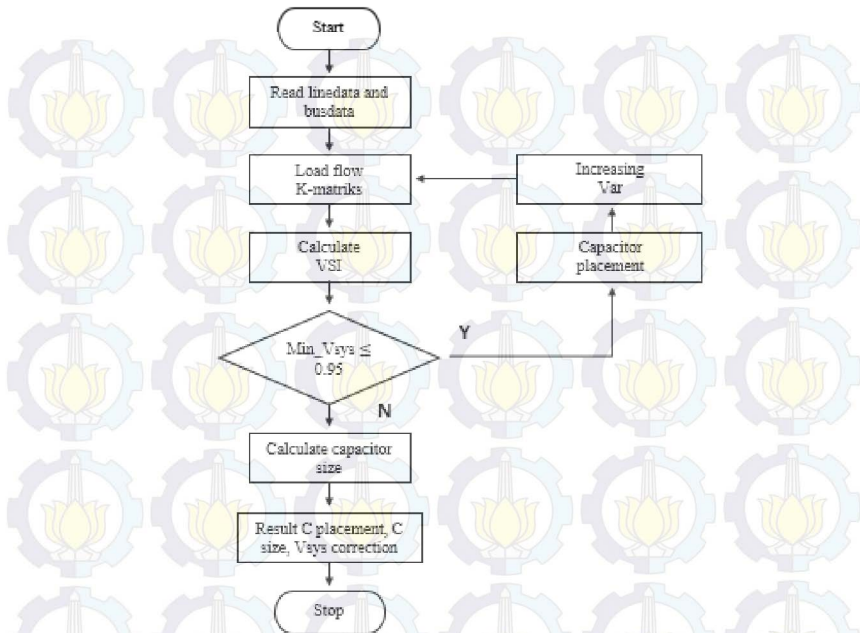
PERENCANAAN SISTEM DAN PERANCANGAN PROGRAM

Pada bab ini akan dijelaskan pengaplikasian dari kapasitor dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)* untuk menjaga kestabilan tegangan akibat adanya penambahan beban. Analisis kestabilan tegangan dilakukan untuk mendapatkan lokasi dari pemasangan kapasitor pada tiap bus sehingga level tegangan pada sistem dapat dipertahankan atau stabil jika ada kenaikan beban. Langkah-langkah dalam perencanaan sistem dan perencanaan program ini ada beberapa tahap yang harus dilakukan anatara lain :

1. Pengumpulan data
2. Simulasi *load flow* dengan menggunakan metode *network topology*. Menentukan lokasi pemaasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks kestabilan tegangan dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index (VSI)*
3. Menentukan nilai kapasitor yang akan dipasang pada bus untuk menaikkan level tegangan pada sistem hingga $\geq 0,95$ pu atau dibawah drop tegangan $\geq 5\%$.

Pembuatan program dan simulasi ini dikerjakan dengan menggunakan *software* Matlab R2007b. Pengujian dari metode ini di terapkan dengan menggunakan 2 sistem yakni dua sistem jaringan distribusi radial satu fasa. Sistem yang pertama menggunakan sistem jaringan distribusi radial satu fasa 33 bus *IEEE* dan untuk sistem yang kedua menggunakan sistem jaringan distribusi PT PLN APJ Surabaya Utara yaitu penyulang Mulyosari 68 bus satu fasa.

Pada Tugas Akhir ini digunakan kapasitor untuk memperbaiki nilai dari level tegangan pada masing-masing bus dengan mempertimbangkan nilai indeks stabilitas tegangan berdasarkan metode *Voltage Stability Index (VSI)*. Dalam menentukan lokasi dari kapasitor maka terdapat beberapa tahapan proses yang harus dilakukan. Gambar 3.1 menunjukkan *flowchart* sistem secara menyeluruh.

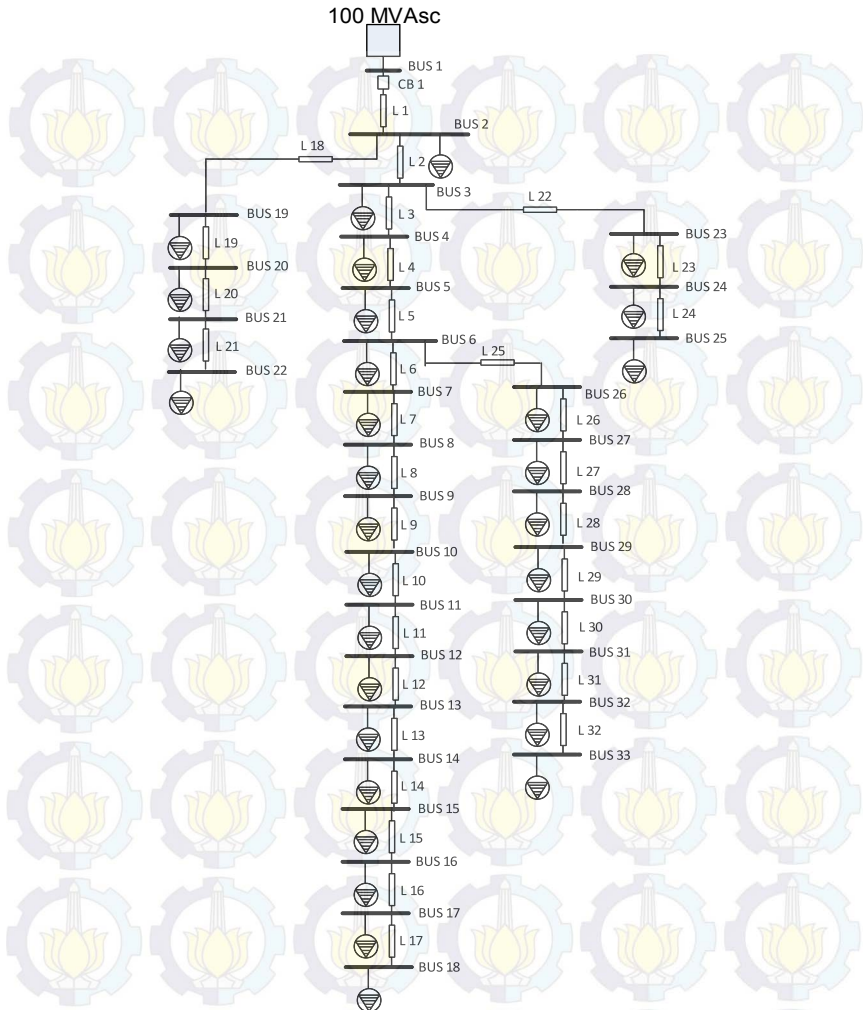


Gambar 3.1 *Flowchart* Sistem

Dari gambar 3.3 menunjukkan proses kerja dan sistem secara keseluruhan yang mulai dari pembacaan data hingga didapatkan lokasi penempatan kapasitor.

3.1 Pengumpulan Data

Untuk langkah pertama adalah dengan melakukan pembacaan data yang sesuai dari referensi[7] yang telah ditentukan sebelumnya. Data yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah data jaringan disribusi radial satu fasa IEEE 33 bus (gambar 3.2) [7] dan data pada PT. PLN APJ Surabaya Utara pada Penyulang Mulyosari 68 bus satu fasa untuk *real system* (gambar 3.3).



Gambar 3.2 Sistem IEEE 33 Bus

Kemudian dilakukan analisis aliran daya (*load flow*) pada data tersebut dengan menggunakan metode network topology untuk mendapatkan parameter yang dibutuhkan. Dengan melakukan analisis kestabilan tegangan pada data tersebut maka dapat diketahui bus terlemah

atau bus yang paling kritis pada saat terjadi kenaikan beban. Setelah itu akan dilakukan proses perbaikan level tegangan dengan menggunakan metode indeks stabilitas tegangan untuk menentukan penentuan lokasi penempatan kapasitor dengan pemasangan kapasitor yang memiliki nilai indeks terlemah pada masing-masing bus.

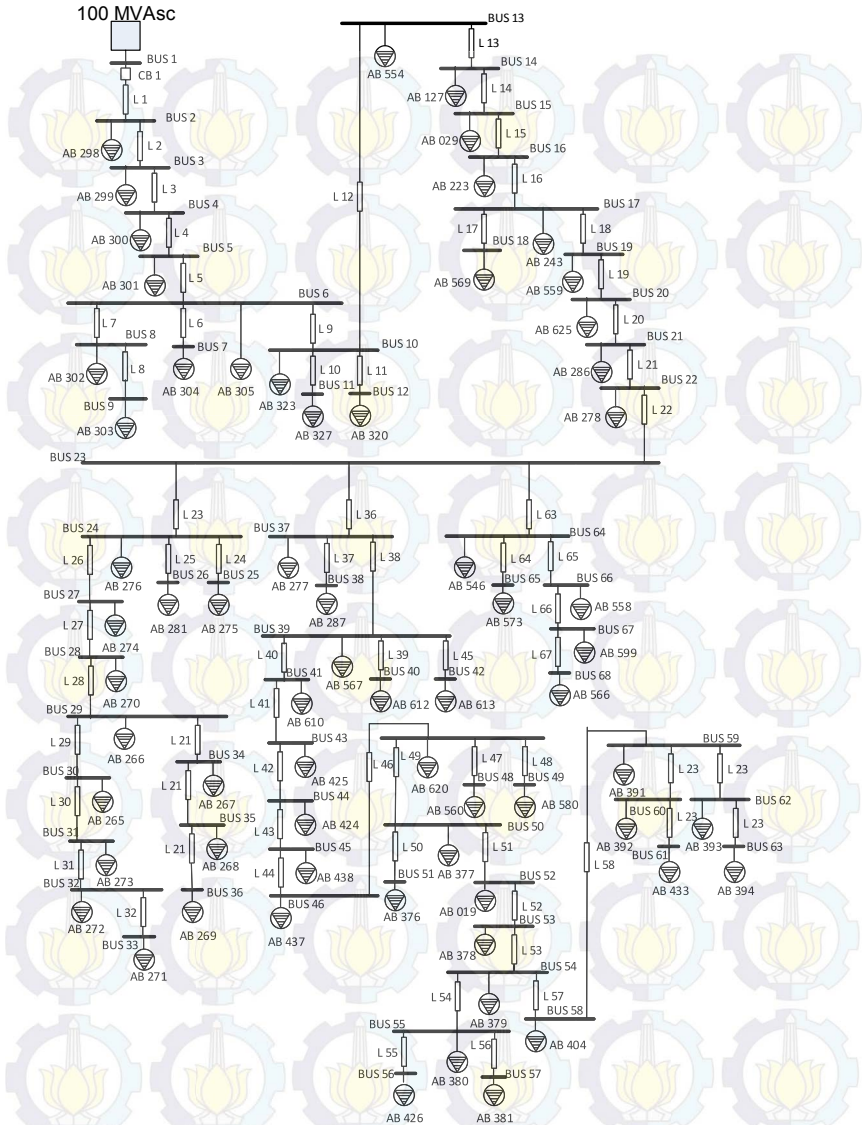
Data yang digunakan meliputi nilai impedansi pada tiap saluran dan data beban (daya aktif dan daya reaktif) pada masing-masing bus sesuai dengan tabel 3.1 untuk sistem IEEE 33 bus [7] dan tabel 3.2 untuk sistem jaringan distribusi 68 bus PT. PLN APJ Surabaya Utara

Tabel 3.1 Data IEEE 33 Bus

No	Saluran		Impedansi		Daya	
	Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)	P (kW)	Q (kVar)
1	1	2	0,0922	0,0477	200	120
2	2	3	0,4930	0,2511	180	80
3	3	4	0,3660	0,1840	240	160
4	4	5	0,3811	0,1941	120	60
5	5	6	0,8190	0,7000	120	40
6	6	7	0,1872	0,6188	400	200
7	7	8	0,7114	0,2351	400	200
8	8	9	1,0300	0,7400	120	40
9	9	10	1,0400	0,7400	120	40
10	10	11	0,1966	0,0650	90	60
11	11	12	0,3744	0,1238	120	70
12	12	13	1,4680	1,1550	120	70
13	13	14	0,5416	0,7129	240	160
14	14	15	0,5910	0,5260	120	20
15	15	16	0,7463	0,5450	120	40
16	16	17	1,2890	1,7210	120	40
17	17	18	0,7320	0,5740	180	80
18	2	19	0,1640	0,1565	180	80
19	19	20	1,5042	1,3554	180	80
20	20	21	0,4095	0,4784	180	80
21	21	22	0,7089	0,9373	180	80

Lanjutan Tabel 3.1 Data IEEE 33 Bus

22	3	23	0,4512	0,3083	180	100
23	23	24	0,8980	0,7091	840	400
24	24	25	0,8960	0,7011	840	400
25	6	26	0,2030	0,1034	120	50
26	26	27	0,2842	0,1447	120	50
27	27	28	1,0590	0,9337	120	40
28	28	29	0,8042	0,7006	240	140
29	39	30	0,5075	0,2585	400	1200
30	30	31	0,9744	0,9630	300	140
31	31	32	0,3105	0,3619	420	200
32	32	33	0,3410	0,5302	120	80



Gambar 3.3 *Single Line Diagram* Penyulang Mulyosari 68 bus PT. PLN APJ Surabaya Utara

Tabel 3.2 Data Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN API Surabaya Utara

No	Saluran		Impedansi		Daya	
	Bus	Bus	R (ohm)	X (ohm)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	0,34662	0,17004	0,085156	0,021228
2	2	3	0,0538	0,0286	0,074908	0,018788
3	3	4	0,03498	0,01716	0,060976	0,015128
4	4	5	0,08162	0,04004	0,019032	0,004636
5	5	6	0,09328	0,04576	0,065636	0,016348
6	6	7	0,09328	0,04576	0,121512	0,030256
7	6	8	0,0583	0,0286	0,06954	0,017324
8	8	9	0,04664	0,02288	0,072224	0,018056
9	6	10	0,1166	0,0572	0,060976	0,015372
10	10	11	0,09328	0,04576	0,088255	0,022204
11	10	12	0,09328	0,04576	0,084495	0,021177
12	10	13	0,0583	0,0286	0,038796	0,009736
13	13	14	0,26818	0,13156	0,049532	0,012444
14	14	15	0,09328	0,04576	0,08906	0,022204
15	15	16	0,08162	0,04004	0,088572	0,019008
16	16	17	0,06996	0,03432	0,04758	0,011956
17	17	18	0,06996	0,03432	0,014884	0,00366
18	17	19	0,1166	0,0572	0,011468	0,002928
19	19	20	0,09328	0,04576	0,001049	0,000268
20	20	21	0,10494	0,05148	0,48312	0,118584
21	21	22	0,08162	0,04004	0,038064	0,009516
22	22	23	0,09328	0,04576	0	0
23	23	24	0,1166	0,0572	0,025376	0,006344
24	24	25	0,03498	0,01716	0,026596	0,006588
25	24	26	0,15158	0,07436	0,087352	0,021887
26	24	27	0,08162	0,04004	0,044652	0,011224
27	27	28	0,04664	0,02288	0,098332	0,024644
28	28	29	0,06996	0,03432	0,046116	0,011468
29	29	30	0,06996	0,03432	0,0915	0,022936
30	30	31	0,06996	0,03432	0,016958	0,004148
31	31	32	0,03498	0,01716	0,055388	0,013908
32	32	33	0,0583	0,0286	0,040016	0,010004

Lanjutan Tabel 3.2 Data Penyulang Mulyosari 68 Bus PT. PLN API
Surabaya Utara

33	29	34	0,10494	0,05148	0,071736	0,018056
34	34	35	0,0583	0,0286	0,098332	0,024644
35	35	36	0,08162	0,04004	0,01669	0,004148
36	23	37	0,1749	0,0858	0,035136	0,008784
37	37	38	0,06996	0,03432	0,020252	0,005124
38	37	39	0,16324	0,08008	0,003172	0,000805
39	39	40	0,16324	0,08008	0,009638	0,002391
40	39	41	0,03498	0,01716	0,010004	0,002489
41	39	42	0,08162	0,04004	3,20494	0,80276
42	41	43	0,02332	0,01144	0,107262	0,02684
43	43	44	0,06996	0,03432	0,109068	0,027328
44	44	45	0,04664	0,02288	0,02318	0,005856
45	45	46	0,02332	0,01144	0,021228	0,005368
46	46	47	0,09328	0,04576	0,004148	0,000976
47	47	48	0,1166	0,0572	0,026352	0,006588
48	47	49	0,13992	0,06864	0,026596	0,006588
49	47	50	0,1166	0,0572	0,112972	0,028304
50	50	51	0,1166	0,0572	0,014591	0,00366
51	50	52	0,1749	0,0858	0,044896	0,011224
52	52	53	0,04664	0,02288	0,033623	0,00854
53	53	54	0,01166	0,00572	0,006344	0,01586
54	54	55	0,03498	0,01716	0,0793	0,019764
55	55	56	0,03498	0,01716	0,106384	0,026596
56	55	57	0,03498	0,01716	0,082716	0,02074
57	54	58	0,03498	0,01716	0,053436	0,013371
58	58	59	0,03498	0,01716	0,062952	0,01586
59	59	60	0,04664	0,02288	0,081984	0,020496
60	60	61	0,03498	0,01716	0,067588	0,016836
61	59	62	0,0583	0,0286	0,081984	0,020496
62	62	63	0,03498	0,01716	0,083936	0,020984
63	23	64	0,13992	0,06864	0,020252	0,005124
64	64	65	0,06996	0,03432	0,06344	0,015921
65	64	66	0,08162	0,04004	0,031476	0,007808
66	66	67	0,08162	0,04004	0,014579	0,003653
67	67	68	0,13992	0,06864	0,009938	0,002491

3.2 Analisis Aliran Daya

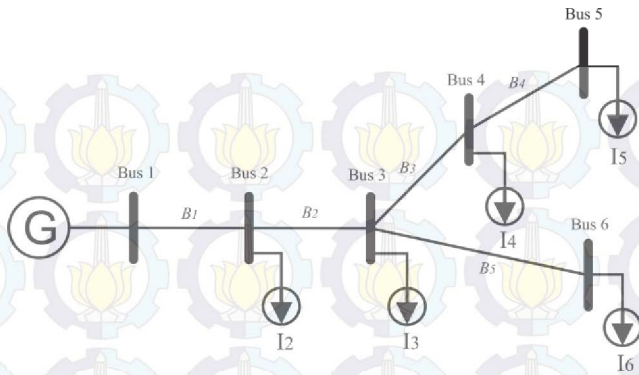
Untuk analisis aliran daya ini menggunakan *software* Matlab R2007b dengan melakukan perhitungan aliran daya (*load flow*) metode *network topology*. Data dari hasil aliran daya (*load flow*) akan didapatkan nilai tegangan pada masing-masing bus dan nilai arus pada tiap saluran. Dari nilai tegangan tersebut dapat dihitung kembali menggunakan analisis indeks stabilitas tegangan dengan metode *Voltage Stability Index* (VSI) sehingga akan didapatkan nilai indeks tegangan pada masing-masing bus yang menunjukkan level stabilitas tegangannya. Setelah dilakukan analisis, akan didapatkan nilai dimana nilai tersebut yang mendekati satu merupakan level tegangan pada bus yang menunjukkan stabil dan sebaliknya jika nilai tersebut mendekati nol maka pada bus tersebut menunjukkan ketidakstabilan.

3.2.1 Metode K-matrik

Dengan berkembangnya perhitungan matematik analisis aliran daya pada sistem distribusi radial menggunakan metode *network topology* sehingga didapatkan keakuratan, kemudahan dan kecepatan dalam perhitungan analisis aliran daya dengan metode ini. Analisis aliran daya dengan menggunakan metode ini pada sistem distribusi radial memiliki keefektifan dalam menghitung nilai tegangan pada masing-masing bus.

Metode K-matrik adalah metode dalam pembentukan matrik impedansi di setiap saluran karena pada saluran distribusi terdapat nilai impedansi yang terhubung dari suatu bus ke bus yang lain. Tiap saluran dari bus ke bus yang lain direpresentasikan dalam sebuah matrik yang menunjukkan arah arus injeksi. Langkah-langkah untuk membentuk K-matrik dalam analisis aliran daya ada beberapa aturan yang harus digunakan sebagai penulisan jalur, diantaranya sebagai berikut.

1. $k(i,j) = 1$, menunjukkan bahwa i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang sama.
2. $k(i,j) = -1$, menunjukkan bahwa i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi dan memiliki arah yang berlawanan.
3. $k(i,j) = 0$, menunjukkan bahwa i berada pada jalur antara bus j dan bus referensi



Gambar 3.4 Contoh *Single Line Diagram* dalam Pembentukan Nilai K-Matrik

Dari gambar 3.3 maka dapat melakukan aturan penelusuran jalur sehingga dapat membuat K-matrik sebagai berikut.

$$K - \text{matrik} = \begin{matrix} & \text{bus2} & \text{bus3} & \text{bus4} & \text{bus5} & \text{bus6} \\ \begin{matrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Dari nilai K-matrik diatas maka didapatkan matrik BIBC (*Bus Injection to Branch Current*). Hubungan antara K-matrik dan BIBC adalah sebagai berikut.

$$[BIBC] = -[K - \text{matrik}]$$

$$[BIBC] = - \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

$$[B] = [BIBC][I] \quad (3.1)$$

Untuk selanjutnya mencari matrik BCBV (*Branch Current to Branch Voltage*) dengan cara mentranspose matrik BIBC lalu dikalikan dengan matrik impedansi *full branch* secara per komponen maka akan didapatkan matrik BCBV sebagai berikut.

$$BCBV = -[BIBC]^T \cdot [Z_{FB}]$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & Z_{36} \end{bmatrix}$$

$$BCBV = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix}$$

Maka untuk mencari nilai dari drop tegangan pada tiap saluran dengan metode K-matrik dapat disimpulkan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dari matrik diatas maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$[\Delta V] = [BCBV][B] \quad (3.2)$$

Dari persamaan (3.1) dan (3.2) maka dapat disubstitusikan sebagai berikut.

$$[\Delta V] = [BCBV][BIBC][I] \quad (3.3)$$

$$[\Delta V] = [DLF][I] \quad (3.4)$$

Sehingga dapat diketahui nilai drop tegangan pada masing-masing bus dengan menggunakan metode K-matrik seperti persamaan diatas.

3.3 Voltage Stability Index (VSI)

Dengan melakukan analisis aliran daya (*load flow*) dengan menggunakan metode *network topology* maka didapatkan parameter-parameter yang nantinya akan digunakan dalam perumusan untuk mencari nilai *Voltage Stability Index* (VSI). Dari persamaan analisi aliran daya sebelumnya maka didapatkan persamaan arus dengan melihat tegangan pada sisi kirim dan sisi penerima. Persamaan arus pada bus dapat dilihat sebagai berikut.

$$I(i) = \frac{|V(i)|\angle\delta(i) - |V(i+1)|\angle\delta(i+1)}{R(i) + jX(i)} \quad (3.5)$$

Dimana dari persamaan (3.5) nilai “*i*” menandakan bus (1,2,3,..., dst), jadi misal untuk mencari arus pada bus 1 maka tegangan pada bus sisi pengirim (bus 1) dikurangi nilai tegangan pada sisi penerima (bus 2) lalu di bagi dengan impedansi saluran dalam bilangan kompleks. Dari persamaan (3.5) juga dapat menentukan nilai Daya kompleks dengan rumus sebagai berikut.

$$S(i+1) = P(i+1) + jQ(i+1) = V(i+1)I^*(i) \quad (3.6)$$

Setelah besara daya *S*, maka nilai dari *P* dan *Q* pun juga bisa kita dapatkan dari persamaan $+jQ$. Sehingga persamaan yang digunakan dalam perhitungan VSI (*Voltage Stability Index*) telah didapatkan dan dapat dimasukkan dalam persamaan sebagai berikut.

$$VSI_2 = V_1^4 - 4.0\{P^2X - Q_2R\}^2 - 4.0\{P_2R + Q_2X\}V_1^2 \geq 0 \quad (3.7)$$

Dimana VSI_2 adalah *Voltage Stability Index* pada bus 2. Untuk nilai dari *Voltage Stability Index* sendiri harus lebih besar sama dengan 0. Untuk operasi matematika dapat digantikan dengan nilai *i* yang di artikan

bus. $VSI(i) \geq 0$ dengan $(i) = 2,3,4,5,6, \dots$, dst (sebanyak jumlah bus pada sistem jaringan distribusi)

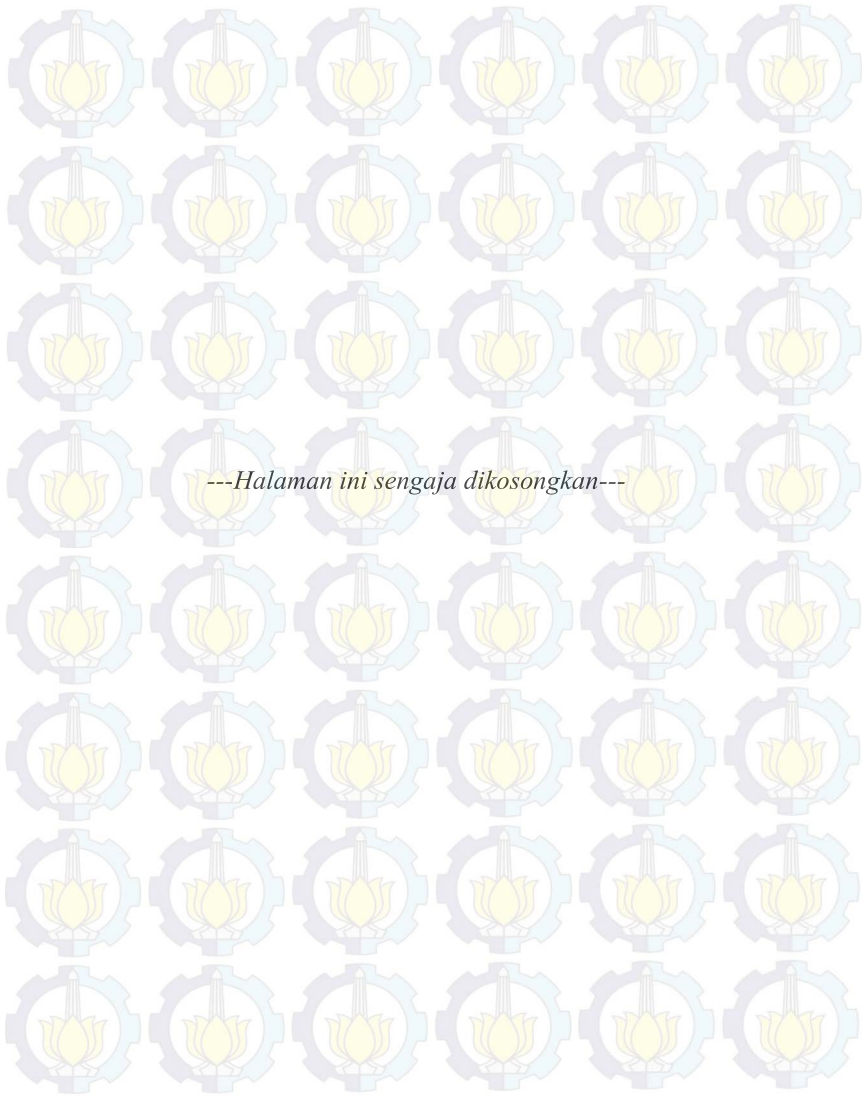
3.4 Penempatan Kapasitor

Dari nilai indeks kestabilan tegangan berdasarkan nilai VSI yang didapatkan, maka nilai indeks yang paling rendah adalah nilai dari bus yang level tegangannya paling tidak stabil. Bus yang memiliki nilai VSI terendah merupakan lokasi dari penempatan kapasitor untuk menaikkan level tegangan pada bus tersebut dalam sistem distribusi. Sehingga hal ini diharapkan pada seluruh sistem dapat mengalami kenaikan level tegangan dan menjadi stabil kembali. Setelah penentuan dari lokasi kapasitor ditentukan maka selanjutnya menghitung besar nilai kapasitor yang akan di pasang untuk meningkatkan level tegangan sistem distribusi hingga level tegangan minimum yaitu lebih besar dari 0,95 p.u

3.5 Ukuran Kapasitor

Untuk ukuran kapasitor diperoleh dari analisa aliran daya setelah perbaikan level tegangan pada sistem hingga lebih besar dari 0,95 p.u. Metode dalam perhitungan nilai kapasitor menggunakan *lamda iteration* dimana tiap iterasi akan ada penambahan atau pengurangan daya reaktif yang diinjeksikan ke bus yang telah ditentukan dari penempatan kapasitor. Untuk nilai kapasitor dapat dihitung dengan menggunakan rumus yakni dengan asumsi $S = Q$ atau daya reaktif yang dibutuhkan, sehingga $Z = X_c$ atau reaktansi saluran. Sehingga didapatkan nilai kapasitor sebagai berikut :

$$C = \frac{S}{V^2 2\pi f} \quad (3.8)$$



BAB IV

SIMULASI DAN ANALISA DATA

Pada bab ini menjelaskan hasil dari simulasi serta analisa data tentang kestabilan tegangan berdasarkan studi aliran daya dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI) pada sistem jaringan distribusi satu fasa dengan menggunakan data IEEE 33 bus dan sistem jaringan distribusi satu fasa Penyulang Mulyosari 68 bus pada PT. PLN APJ Surabaya Utara. Dengan melakukan simulasi maka akan didapatkan nilai indeks kestabilan tegangan pada masing-masing bus sehingga bisa didapatkan ranking dalam sistem jaringan distribusi. Setelah didapatkan ranking tersebut maka akan diketahui nilai ranking teratas adalah nilai indeks yang paling kecil (<1) yang menunjukkan bus tersebut sangat kritis atau yang paling lemah diantara bus yang lain. Dengan diketahui bus yang kritis maka kapasitor ditempatkan pada bus tersebut untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga 0,95 pu. Sehingga bus yang lain pun level tegangannya akan meningkat juga setelah pemasangan kapasitor pada bus yang kritis.

4.1 Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan untuk analisis aliran daya dan penentuan penempatan lokasi kapasitor dengan metode VSI menggunakan *software* MATLAB R2007b. Pada simulasi tersebut akan didapatkan nilai indeks tiap bus yang telah diranking, level tegangan tanpa menggunakan kapasitor, serta perubahan level tegangan dengan menggunakan kapasitor berdasarkan nilai indeks stabilitas tegangan. Dengan data yang diperoleh dari simulasi tersebut, lokasi penempatan kapasitor dan nilai kapasitor dapat ditentukan berdasarkan indeks stabilitas. Sehingga dengan dilakukan pemasangan kapasitor dapat mengurangi nilai drop tegangan.

4.1.1 Sistem IEEE 33 bus

Dengan menggunakan sistem jaringan distribusi radial satu fasa dari IEEE 33 bus maka dapat dilihat pada tabel 4.1 yang menunjukkan hasil simulasi *load flow* dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI) untuk mendapatkan nilai indeks pada masing-masing bus.

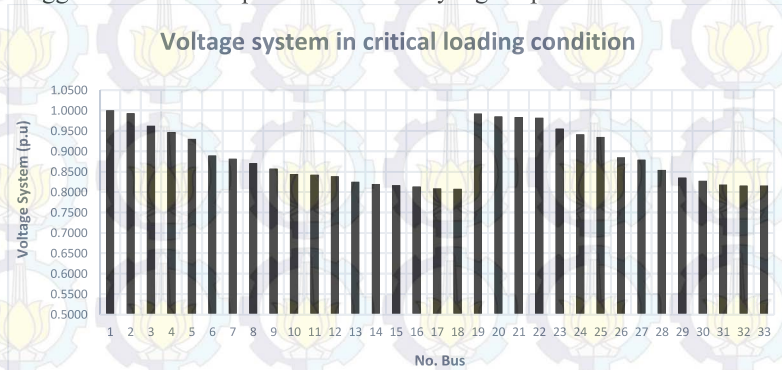
Tabel 4.1 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,00
2	0,9936	0,9745	2	2	0,64
3	0,9631	0,8601	7	7	3,69
4	0,9466	0,8027	9	9	5,34
5	0,9303	0,7484	12	12	6,97
6	0,8897	0,6263	13	13	11,03
7	0,8820	0,6050	15	15	11,80
8	0,8712	0,5761	17	17	12,88
9	0,8572	0,5399	18	18	14,28
10	0,8442	0,5078	20	20	15,58
11	0,8423	0,5032	21	21	15,77
12	0,8390	0,4952	22	22	16,10
13	0,8252	0,4633	25	25	17,48
14	0,8200	0,4516	26	26	18,00
15	0,8168	0,4445	28	28	18,32
16	0,8137	0,4377	31	31	18,63
17	0,8091	0,4274	32	32	19,09
18	0,8077	0,4245	33	33	19,23
19	0,9925	0,9721	3	3	0,75
20	0,9853	0,9425	4	4	1,47
21	0,9839	0,9371	5	5	1,61
22	0,9826	0,9321	6	6	1,74
23	0,9557	0,8340	8	8	4,43
24	0,9419	0,7869	10	10	5,81
25	0,9350	0,7641	11	11	6,50

Lanjutan Tabel 4.1 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

26	0,8854	0,6138	14	14	11,46
27	0,8796	0,5983	16	16	12,04
28	0,8541	0,5315	19	19	14,59
29	0,8356	0,4868	23	23	16,44
30	0,8276	0,4679	24	24	17,24
31	0,8183	0,4477	27	27	18,17
32	0,8163	0,4433	29	29	18,37
33	0,8157	0,4419	30	30	18,43

Dari data hasil simulasi pada tabel 4.1 maka didapatkan nilai indeks terendah pada bus 18 yang merupakan bus terlemah atau bus yang paling kritis pada sistem ini. Untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga naik ≥ 0.95 p.u pada masing-masing bus maka dilakukan pemasangan kapasitor pada bus terlemah. Dalam hal ini akan dicoba pemasangan beberapa kapasitor berdasarkan nilai indeks yang terlemah hingga sistem ≥ 0.95 p.u atau tidak ada yang drop diatas 5%.



Gambar 4.1 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor

Untuk pemasangan satu kapasitor yang pertama akan ditempatkan pada bus 18 sesuai gambar 4.1 yang menunjukkan bus yang paling

terlemah berdasarkan VSI dan juga bus yang paling ujung. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.2

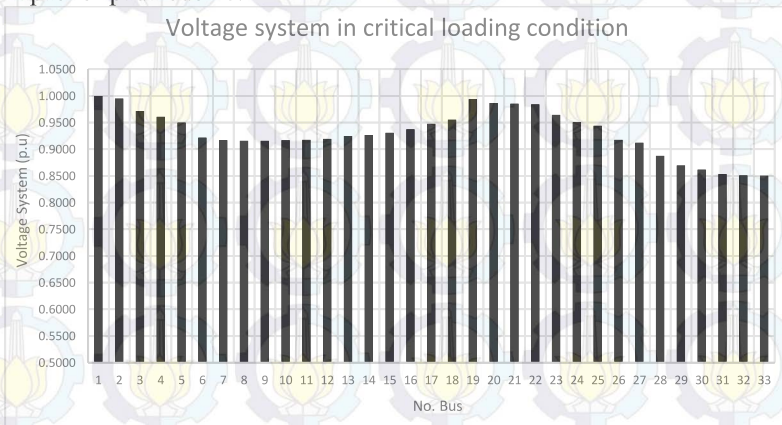
Tabel 4.2 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,000	1	1	0,000
2	0,9950	0,980	2	2	0,502
3	0,9719	0,892	7	7	2,815
4	0,9608	0,851	10	9	3,917
5	0,9501	0,813	13	11	4,991
6	0,9219	0,720	19	17	7,814
7	0,9168	0,704	24	21	8,316
8	0,9160	0,700	26	23	8,403
9	0,9160	0,698	25	26	8,400
10	0,9171	0,698	22	25	8,290
11	0,9178	0,700	21	24	8,216
12	0,9195	0,704	20	22	8,047
13	0,9251	0,714	18	19	7,486
14	0,9269	0,715	17	18	7,309
15	0,9312	0,724	16	16	6,885
16	0,9374	0,738	15	15	6,257
17	0,9479	0,752	11	14	5,208
18	0,9554	0,767	9	13	4,461
19	0,9939	0,976	3	3	0,608
20	0,9867	0,948	4	4	1,329
21	0,9853	0,942	5	5	1,471
22	0,9840	0,937	6	6	1,599
23	0,9645	0,865	8	8	3,549

Lanjutan Tabel 4.2 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18

24	0,9508	0,817	12	10	4,915
25	0,9440	0,794	14	12	5,598
26	0,9177	0,706	23	20	8,229
27	0,9122	0,689	27	27	8,783
28	0,8876	0,617	28	28	11,241
29	0,8699	0,569	29	29	13,010
30	0,8621	0,548	30	30	13,786
31	0,8533	0,526	31	31	14,671
32	0,8513	0,522	32	32	14,865
33	0,8507	0,520	33	33	14,925

Dari tabel 4.2 menunjukkan hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor pada bus 18. Pada bus 18 level tegangannya sudah meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u namun tidak semuanya bus meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u seperti yang terlihat pada grafik gambar 4.2. Dari gambar tersebut perlu adanya penambahan kapasitor pada bus yang memiliki nilai indeks stabilitas tegangan yang paling rendah setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18.



Gambar 4.2 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18

Untuk penambahan pemasangan kapasitor akan ditempatkan pada bus 33 yang mempunyai nilai indeks paling rendah atau bus yang kritis setelah pemasangan kapasitor pada 18. Bus 33 ini terletak diujung dan jauh dari sumber sehingga mengalami drop tegangan. Hasil simulasi dari penambahan kapasitor pada bus 33 dapat dilihat di tabel 4.3 sebagai berikut.

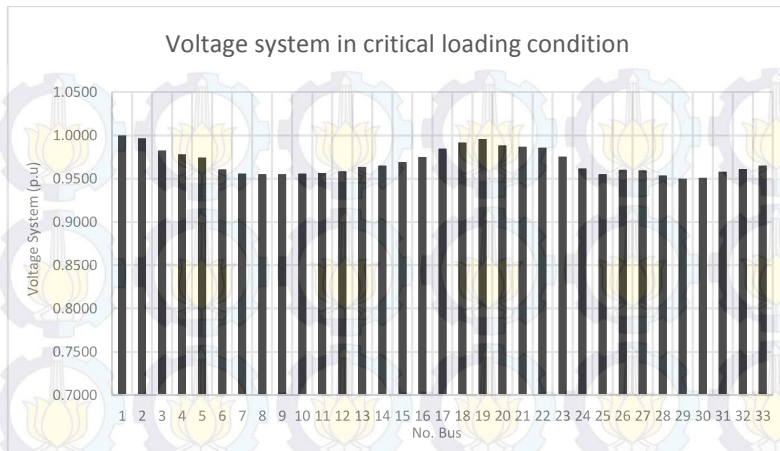
Tabel 4.3 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan 33

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,000
2	0,9967	0,9866	2	2	0,334
3	0,9825	0,9309	9	7	1,750
4	0,9781	0,9127	10	8	2,194
5	0,9742	0,8961	13	10	2,583
6	0,9607	0,8402	20	15	3,925
7	0,9560	0,8234	26	21	4,403
8	0,9551	0,8180	28	23	4,493
9	0,9550	0,8134	29	25	4,498
10	0,9560	0,8114	27	27	4,402
11	0,9567	0,8129	25	26	4,332
12	0,9583	0,8168	23	24	4,173
13	0,9635	0,8243	17	20	3,652
14	0,9651	0,8233	16	22	3,492
15	0,9691	0,8311	14	19	3,093
16	0,9750	0,8445	12	14	2,501
17	0,9847	0,8531	8	13	1,526
18	0,9918	0,8674	4	11	0,820
19	0,9956	0,9825	3	3	0,440
20	0,9884	0,9544	5	4	1,159

Lanjutan Tabel 4.3 Hasil *Load Flow* Data IEEE 33 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan 33

21	0,9870	0,9490	6	5	1,301
22	0,9857	0,9440	7	6	1,429
23	0,9753	0,9039	11	9	2,475
24	0,9618	0,8552	18	12	3,824
25	0,9550	0,8316	30	18	4,498
26	0,9602	0,8367	21	16	3,981
27	0,9597	0,8323	22	17	4,033
28	0,9537	0,7986	31	28	4,630
29	0,9501	0,7737	33	32	4,994
30	0,9511	0,7692	32	33	4,889
31	0,9581	0,7759	24	31	4,185
32	0,9610	0,7781	19	30	3,897
33	0,9652	0,7795	15	29	3,480

Dari tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa kenaikan level tegangan mencapai $\geq 0,95$ p.u pada sistem jaringan distribusi 33 bus harus ditambahkan dua kapasitor sekaligus pada tempat yang berbeda. Kapasitor pertama sebesar 20 kVar yang terletak pada bus 18 dan kapasitor yang kedua sebesar ditempatkan pada bus 33 sebesar 27 kVar sehingga sistem pada jaringan tersebut tidak mengalami drop tegangan hingga diatas 5%. Untuk hasil grafik setelah pemasangan kapasitor di bus 18 dan bus 33 dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 18 dan Bus 33

Dengan menggunakan dua kapasitor yang ditempatkan pada bus yang berbeda dengan ukuran yang berbeda pada tiap bus maka level tegangan pada sistem dapat meningkat yang dapat dilihat pada gambar 4.7. Untuk nilai kapasitor dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai Kapasitor Bus 18 dan 33 pada Sistem 33 Bus

No bus	kVar
18	20
33	27

4.1.2 Penyulang Mulyosari 68 bus

Pada penyulang Mulyosari terdiri dari 68 bus dengan konfigurasi sistem 1 fasa radial tipe pohon. Pada sistem ini beban yang terpasang pada 66 bus dengan bus 1 adalah bus sumber dan bus 23 tidak ada beban. pada tabel 4.4 di bawah ini menunjukkan hasil simulasi *load flow* satu fasa dengan menggunakan metode *Voltage Stability Index* (VSI) untuk mendapatkan nilai indeks stabilitas tegangan pada masing-masing bus sebelum pemasangan kapasitor.

Tabel 4.5 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage System	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,00000	1	1	0,000
2	0,9852	0,94115	2	2	1,477
3	0,9829	0,93196	3	3	1,714
4	0,9814	0,92621	4	4	1,862
5	0,9780	0,91296	5	5	2,204
6	0,9740	0,89791	6	9	2,596
7	0,9740	0,89822	8	7	2,599
8	0,9740	0,89826	7	6	2,598
9	0,9740	0,89822	9	8	2,599
10	0,9693	0,87966	10	12	3,074
11	0,9692	0,87997	12	11	3,076
12	0,9692	0,87998	11	10	3,076
13	0,9669	0,87072	13	13	3,309
14	0,9561	0,83010	14	14	4,387
15	0,9524	0,81618	15	15	4,761
16	0,9491	0,80414	16	16	5,086
17	0,9464	0,79392	17	18	5,362
18	0,9464	0,79427	18	17	5,363
19	0,9418	0,77707	19	19	5,821
20	0,9381	0,76369	20	20	6,188
21	0,9340	0,74873	21	21	6,601
22	0,9309	0,73753	22	22	6,910
23	0,9274	0,72482	23	28	7,263
24	0,9271	0,72436	29	30	7,288
25	0,9271	0,72437	30	29	7,288

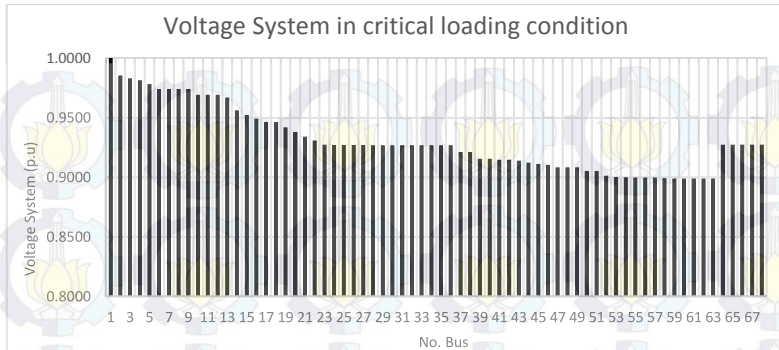
Lanjutan Tabel 4.5 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

26	0,9271	0,72426	31	31	7,292
27	0,9270	0,72394	32	32	7,302
28	0,9269	0,72371	33	33	7,309
29	0,9268	0,72344	34	34	7,319
30	0,9268	0,72332	35	35	7,323
31	0,9267	0,72325	37	37	7,325
32	0,9267	0,72322	38	38	7,326
33	0,9267	0,72320	41	41	7,327
34	0,9268	0,72328	36	36	7,324
35	0,9267	0,72322	39	39	7,326
36	0,9267	0,72321	40	40	7,327
37	0,9212	0,70253	42	43	7,879
38	0,9212	0,70276	43	42	7,879
39	0,9155	0,68188	44	45	8,451
40	0,9155	0,68213	45	44	8,452
41	0,9146	0,67852	47	47	8,540
42	0,9147	0,67990	46	46	8,530
43	0,9140	0,67626	48	48	8,599
44	0,9123	0,66940	49	49	8,774
45	0,9111	0,66488	50	50	8,889
46	0,9105	0,66262	51	51	8,947
47	0,9082	0,65360	52	54	9,176
48	0,9082	0,65373	53	52	9,177
49	0,9082	0,65372	54	53	9,177
50	0,9054	0,64233	55	56	9,460
51	0,9054	0,64247	56	55	9,461
52	0,9012	0,62553	57	57	9,880

Lanjutan Tabel 4.5 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Sebelum Pemasangan Kapasitor

53	0,9001	0,62106	58	58	9,992
54	0,8998	0,61994	59	62	10,019
55	0,8998	0,62000	60	59	10,022
56	0,8998	0,61997	62	61	10,023
57	0,8998	0,61998	61	60	10,023
58	0,8990	0,61668	63	64	10,099
59	0,8990	0,61669	64	63	10,104
60	0,8989	0,61664	65	65	10,106
61	0,8989	0,61662	66	66	10,106
62	0,8989	0,61662	67	67	10,106
63	0,8989	0,61660	68	68	10,107
64	0,9273	0,72652	24	23	7,269
65	0,9273	0,72491	25	25	7,270
66	0,9273	0,72491	26	24	7,270
67	0,9273	0,72489	27	26	7,271
68	0,9273	0,72488	28	27	7,271

Dari data hasil simulasi penyulang Mulyosari pada tabel 4.4 maka didapatkan nilai indeks terendah pada bus 63 yang merupakan bus terlemah atau bus yang paling kritis pada sistem ini. Untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga naik $\geq 0,95$ p.u pada masing-masing bus maka dilakukan pemasangan kapasitor pada bus terlemah. Dalam hal ini akan dicoba pemasangan kapasitor berdasarkan nilai indeks yang terlemah hingga sistem $\geq 0,95$ p.u atau tidak ada yang drop diatas 5%.



Gambar 4.4 Karakteristik Level Tegangan Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor

Untuk pemasangan kapasitor yang pertama akan ditempatkan pada bus 63 sesuai gambar 4.5 dan tabel 4.4 yang menunjukkan bus yang paling terlemah berdasarkan metode *Voltage Stability Index* (VSI). Hasil simulasi *load flow* dengan pemasangan kapasitor pada bus 63 dapat dilihat pada tabel 4.5 yang menunjukkan bahwa tegangan dari sistem sudah meningkat dari sebelumnya.

Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

No Bus	Voltage System (p.u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage system	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,000
2	0,9916	0,9656	2	2	0,836
3	0,9903	0,9599	3	3	0,973
4	0,9894	0,9565	4	4	1,056
5	0,9875	0,9484	5	5	1,247
6	0,9853	0,9391	6	9	1,466
7	0,9853	0,9392	8	7	1,469
8	0,9853	0,9393	7	6	1,468
9	0,9853	0,9392	9	8	1,469

Lanjutan Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

10	0,9827	0,9278	10	12	1,728
11	0,9827	0,9279	12	11	1,730
12	0,9827	0,9280	11	10	1,730
13	0,9814	0,9223	13	13	1,855
14	0,9756	0,8963	14	14	2,438
15	0,9736	0,8872	15	15	2,639
16	0,9719	0,8792	16	16	2,813
17	0,9704	0,8723	17	18	2,961
18	0,9704	0,8725	18	17	2,961
19	0,9680	0,8609	19	19	3,204
20	0,9660	0,8517	20	20	3,399
21	0,9638	0,8412	21	21	3,618
22	0,9622	0,8333	22	22	3,777
23	0,9604	0,8243	23	24	3,958
24	0,9602	0,8236	29	30	3,982
25	0,9602	0,8236	30	29	3,982
26	0,9601	0,8235	31	31	3,986
27	0,9600	0,8232	32	32	3,996
28	0,9600	0,8229	33	33	4,003
29	0,9599	0,8227	34	34	4,011
30	0,9598	0,8225	35	35	4,016
31	0,9598	0,8225	37	37	4,018
32	0,9598	0,8224	38	38	4,019
33	0,9598	0,8224	41	41	4,019
34	0,9598	0,8225	36	36	4,017
35	0,9598	0,8224	39	39	4,019
36	0,9598	0,8224	40	40	4,019

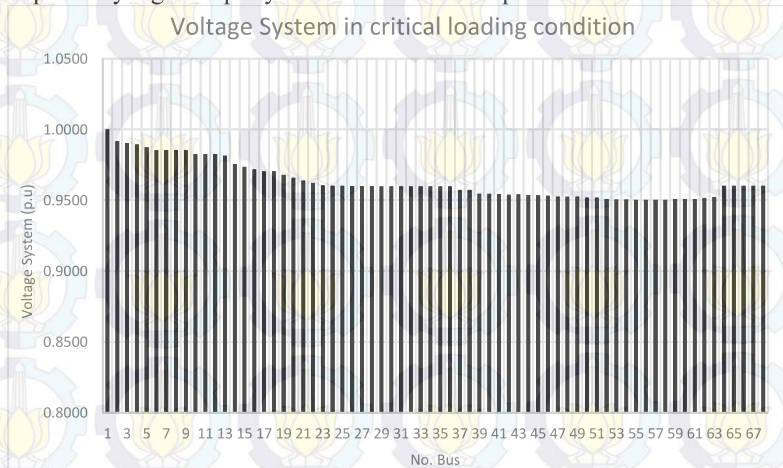
Lanjutan Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

37	0,9575	0,8085	42	43	4,254
38	0,9575	0,8086	43	42	4,254
39	0,9547	0,7935	44	45	4,527
40	0,9547	0,7936	45	44	4,528
41	0,9545	0,7914	46	46	4,554
42	0,9540	0,7912	48	47	4,602
43	0,9543	0,7902	47	48	4,571
44	0,9538	0,7853	49	49	4,622
45	0,9535	0,7823	50	50	4,654
46	0,9533	0,7808	51	51	4,670
47	0,9527	0,7747	52	52	4,733
48	0,9527	0,7746	53	53	4,734
49	0,9527	0,7746	54	54	4,734
50	0,9519	0,7668	56	55	4,810
51	0,9519	0,7668	57	56	4,810
52	0,9508	0,7548	60	57	4,918
53	0,9505	0,7515	63	60	4,947
54	0,9505	0,7507	64	61	4,954
55	0,9504	0,7506	65	62	4,957
56	0,9504	0,7505	67	64	4,958
57	0,9504	0,7505	66	63	4,957
58	0,9503	0,7483	68	68	4,972
59	0,9508	0,7498	59	65	4,916
60	0,9508	0,7496	61	66	4,918
61	0,9508	0,7495	62	67	4,919
62	0,9518	0,7522	58	59	4,819
63	0,9524	0,7537	55	58	4,760

Lanjutan Tabel 4.6 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

64	0,9604	0,8244	24	23	3,964
65	0,9604	0,8242	25	26	3,965
66	0,9604	0,8242	26	25	3,965
67	0,9603	0,8242	27	27	3,965
68	0,9603	0,8242	28	28	3,966

Dari tabel 4.5 menunjukkan hasil simulasi setelah pemasangan kapasitor pada bus 63. Pada bus 63 level tegangan sudah meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u. Dan seluruh sistem tegangan sudah meningkat hingga $\geq 0,95$ p.u. atau tidak ada yang melebihi dari batas drop tegangan ($\geq 5\%$) yang dapat dilihat pada grafik gambar 4.6. Pada grafik gambar 4.6 menunjukkan bahwa setelah pemasangan kapasitor pada bus 63 membuat sistem jadi lebih baik dari sebelumnya. Untuk ukuran kapasitor yang terpasang di bus 63 sebesar 70 kVar. Untuk membandingkan nilai kapasitor yang baik dapat digunakan beberapa simulasi *load flow* pada penyulang Mulyosari 68 bus dengan pemasangan kapasitor yang berbeda lokasi (bus). Sehingga dari perbandingan tersebut dapat diperoleh nilai kapasitor yang mempunyai ukuran lebih kecil pada sistem.



Gambar 4.5 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 63

Untuk selanjutnya akan dicoba pemasangan kapasitor pada bus 68 yang merupakan bus terakhir atau bus yang paling ujung dari penyulang Mulyosari. Tabel 4.6 merupakan hasil simulasi *load flow* setelah pemasangan pada bus 68. Pemasangan pada bus 68 untuk mendapatkan nilai kapasitor yang baik maka perlu pemasangan kapasitor pada bus yang lain. Sehingga dapat dibandingkan pemasangan kapasitor pada bus 68 dan bus yang sebelumnya (bus 63) untuk mendapatkan nilai kapasitor yang baik.

Tabel 4.7 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

No Bus	Voltage System (p,u)	Stability Index (VSI)	Rank, Voltage system	Rank, VSI	Drop Voltage (%)
1	1,0000	1,0000	1	1	0,000
2	0,9950	0,9786	2	2	0,500
3	0,9942	0,9748	3	3	0,585
4	0,9937	0,9726	4	4	0,634
5	0,9925	0,9673	5	5	0,746
6	0,9913	0,9611	6	9	0,874
7	0,9912	0,9611	8	7	0,878
8	0,9912	0,9612	7	6	0,877
9	0,9912	0,9611	9	8	0,878
10	0,9898	0,9536	10	12	1,024
11	0,9897	0,9537	12	11	1,026
12	0,9897	0,9537	11	10	1,026
13	0,9891	0,9499	14	13	1,095
14	0,9858	0,9321	15	14	1,418
15	0,9847	0,9257	17	15	1,529
16	0,9838	0,9199	18	16	1,624
17	0,9830	0,9150	20	19	1,704
18	0,9830	0,9151	21	18	1,704

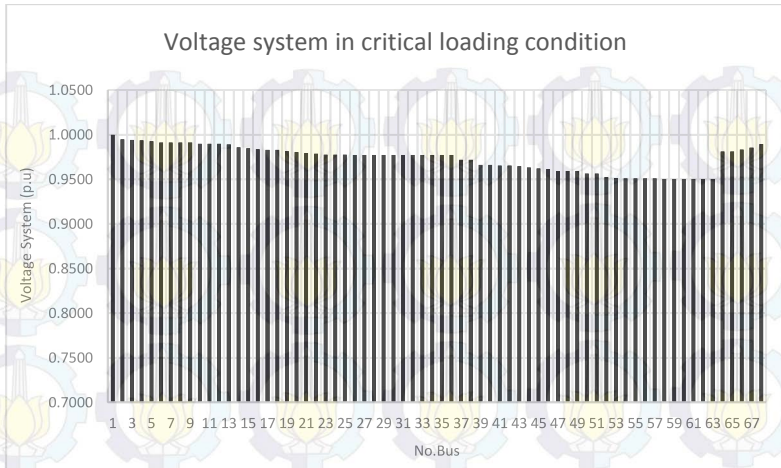
Lanjutan Tabel 4.7 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

19	0,9816	0,9066	22	20	1,835
20	0,9806	0,8998	25	22	1,940
21	0,9794	0,8918	26	25	2,057
22	0,9786	0,8859	27	27	2,138
23	0,9777	0,8790	28	28	2,229
24	0,9775	0,8782	29	30	2,252
25	0,9775	0,8783	30	29	2,252
26	0,9774	0,8781	31	31	2,256
27	0,9773	0,8778	32	32	2,265
28	0,9773	0,8776	33	33	2,272
29	0,9772	0,8773	34	34	2,281
30	0,9772	0,8771	35	35	2,285
31	0,9771	0,8771	37	37	2,287
32	0,9771	0,8770	38	38	2,288
33	0,9771	0,8770	41	41	2,289
34	0,9771	0,8771	36	36	2,286
35	0,9771	0,8770	39	39	2,288
36	0,9771	0,8770	40	40	2,289
37	0,9718	0,8528	42	43	2,819
38	0,9718	0,8530	43	42	2,820
39	0,9663	0,8287	44	45	3,368
40	0,9663	0,8290	45	44	3,369
41	0,9655	0,8247	47	47	3,454
42	0,9656	0,8266	46	46	3,442
43	0,9649	0,8220	48	48	3,511
44	0,9632	0,8138	49	49	3,680
45	0,9621	0,8084	50	50	3,792

Lanjutan Tabel 4.7 Hasil *Load Flow* Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

46	0,9615	0,8058	51	51	3,847
47	0,9593	0,7950	52	54	4,069
48	0,9593	0,7952	53	52	4,070
49	0,9593	0,7951	54	53	4,070
50	0,9566	0,7816	55	56	4,344
51	0,9566	0,7818	56	55	4,345
52	0,9525	0,7617	57	57	4,750
53	0,9514	0,7564	58	58	4,858
54	0,9512	0,7551	59	62	4,885
55	0,9511	0,7551	60	59	4,888
56	0,9511	0,7551	62	61	4,889
57	0,9511	0,7551	61	60	4,888
58	0,9504	0,7512	63	64	4,963
59	0,9503	0,7512	64	63	4,966
60	0,9503	0,7511	65	65	4,968
61	0,9503	0,7511	66	66	4,969
62	0,9503	0,7511	67	67	4,969
63	0,9503	0,7511	68	68	4,970
64	0,9814	0,8925	23	24	1,864
65	0,9813	0,8905	24	26	1,865
66	0,9835	0,8976	19	23	1,649
67	0,9857	0,9044	16	21	1,434
68	0,9894	0,9162	13	17	1,065

Dari hasil simulasi *load flow* pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa untuk meningkatkan level tegangan pada sistem hingga $\geq 0,95$ p.u. maka kapasitor yang dipasang pada bus 68 sebesar 110 kVar. Grafik dari sistem Mulyosari 68 bus setelah pemasangan kapasitor pada bus 68 dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.6 Karakteristik Level Tegangan Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor pada Bus 68

Dari hasil simulasi *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 63 dan pemasangan kapasitor pada bus 68 maka untuk nilai kapasitor lebih baik ditempatkan pada bus 63 dengan kapasitor sebesar 70 kVar di bandingkan dengan penempatan kapasitor pada bus 68 yang nilainya sebesar 110 kVar. Tabel 4.8 menunjukkan nilai kapasitor yang ditempatkan pada bus 63 dan 68

Tabel 4.8 Nilai Kapasitor Bus 63 dan 68 pada Sistem

No bus	kVar
63	70
68	110

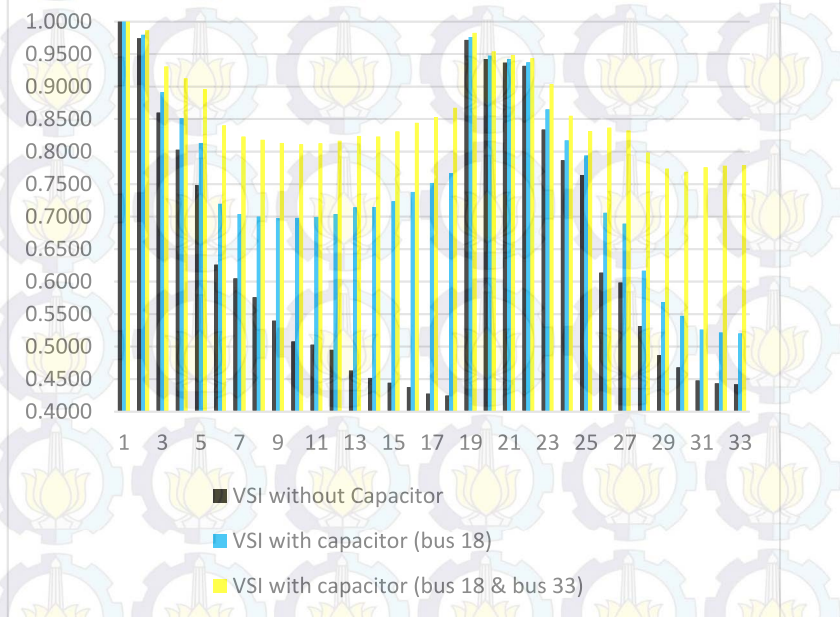
4.2 Analisis Aliran Daya

Dari hasil simulasi yang kita dapatkan, terdapat perbedaan beberapa kenaikan level tegangan pada sistem berdasarkan penempatan lokasi kapasitor dan ukuran dari kapasitor itu sendiri. Perbedaan dari penempatan dan ukuran kapasitor inilah yang mempengaruhi besar dari drop tegangan pada tiap bus sebelum pemasangan kapasitor pada sistem. Semakin besar drop tegangan pada sistem, maka semakin besar pula

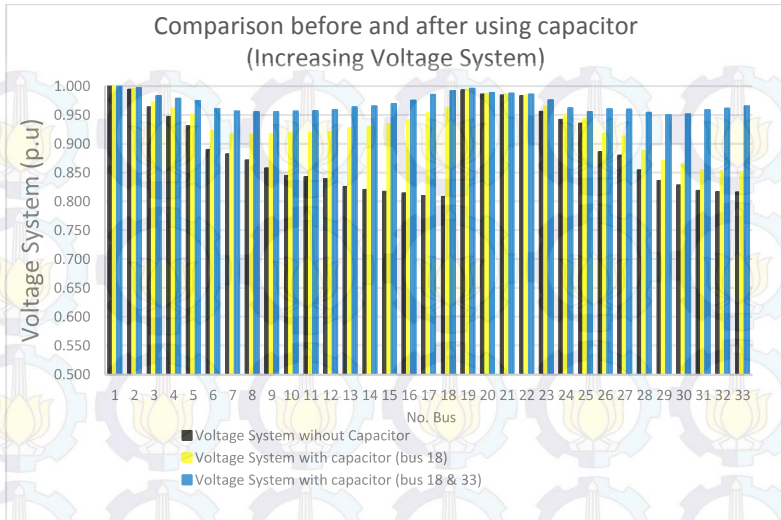
kapasitas kapasitor yang harus dipasang untuk mendapatkan peningkatan level tegangan sistem hingga 0,95 pu.

4.2.1 Sistem IEEE 33 bus

Setelah melakukan simulasi pada sistem IEEE 33 bus satu fasa maka didapatkan data hasil simulasi pada tabel 4.1 yang merupakan data hasil *load flow* sebelum pemasangan kapasitor pada sistem, tabel 4.2 adalah hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 18. Tabel 4.3 adalah hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 18 dan bus 33. Dari ketiga data tersebut maka didapatkan grafik peningkatan level tegangan pada sistem hingga 0,95 pu. Pemasangan kapasitor pada bus 18 dengan kapasitas 20 kVar dan pada bus 33 dengan kapasitas sebesar 27 kVar. Dengan pemasangan dua kapasitor sekaligus yang dilakukan pada kedua lokasi ini dapat meningkatkan level tegangan pada sistem hingga 0,95 pu.



Gambar 4.7 Perbandingan *Stability Index* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE



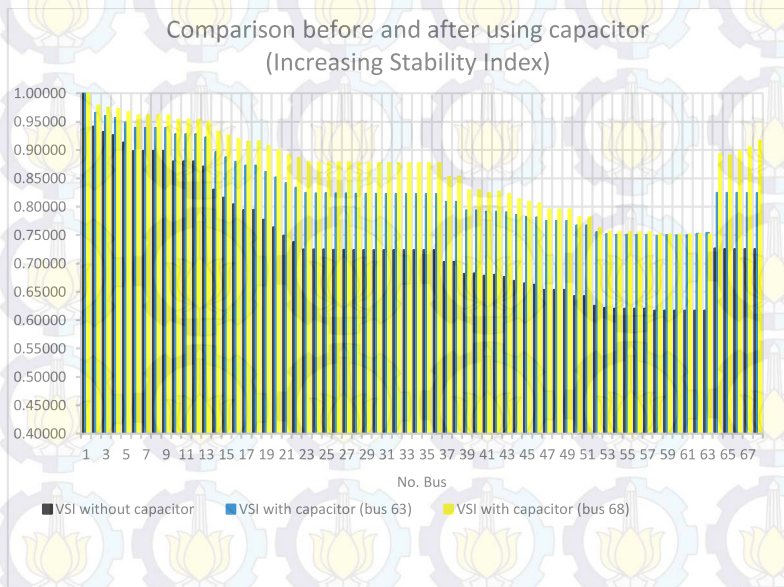
Gambar 4.8 Perbandingan *Voltage System* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem 33 Bus IEEE

Dari hasil simulasi untuk pemasangan kapasitor pada sistem 33 bus satu fasa IEEE, lokasi pemasangan kapasitor yang efektif yaitu berada pada bus 18 dan bus 33 dikarenakan untuk meningkatkan level tegangan hingga 0,95 pu harus ditempatkan pada bus yang memiliki nilai indeks kestabilan paling kecil atau pada bus yang kritis. Dari hasil *load flow* setelah melakukan pemasangan kapasitor pada bus 18 sebesar 20 kVar ternyata sistem masih belum bisa mencapai level tegangan hingga 0,95 pu, maka perlu diadakannya pemasangan kapasitor lagi atau penambahan kapasitor yang memiliki nilai indeks paling rendah yaitu pada bus 33 dengan kapasitas sebesar 27 kVar maka sistem dapat meningkat hingga level tegangan pada sistem mencapai 0,95 pu.

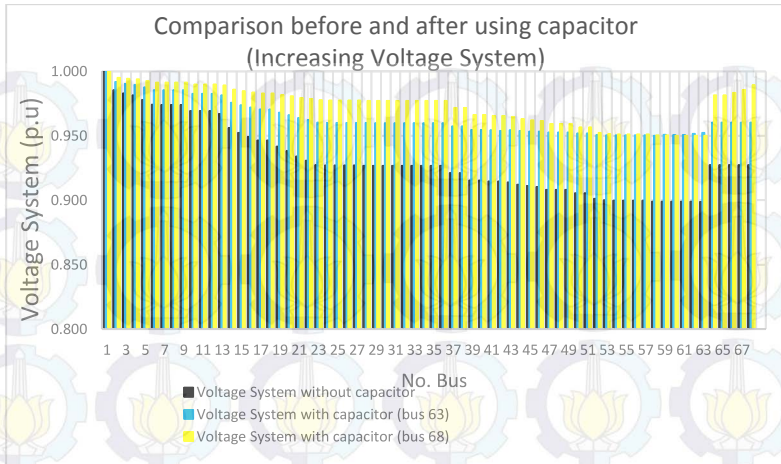
4.2.2 Penyulang Mulyosari 68 bus

Setelah melakukan simulasi pada penyulang Mulyosari 68 bus maka didapatkan data hasil simulasi seperti pada tabel 4.4 yang merupakan data hasil *load flow* sebelum pemasangan kapasitor, tabel 4.5 adalah data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 63, dan tabel 4.6 adalah data hasil *load flow* setelah pemasangan kapasitor pada bus 68. Dari data tersebut didapatkan grafik kenaikan level tegangan pada

sistem yang dapat dilihat pada gambar 4.8. Pemasangan kapasitor pada bus 63 dengan kapasitas sebesar 70 kVar sedangkan untuk pemasangan kapasitor pada bus 68 sebesar 110 kVar. Dengan adanya perbandingan penempatan kapasitor maka dapat dibandingkan pemasangan kapasitor yang lebih efektif pada sistem jaringan distribusi penyalang Mulyosari 68 bus satu fasa PT. PLN APJ Surabaya Utara dengan kapasitas pemasangan kapasitor yang lebih kecil untuk mendapatkan tingkatan level tegangan sistem hingga 0,95 pu.



Gambar 4.9 Perbandingan *Stability Index* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyalang Mulyosari 68 Bus



Gambar 4.10 Perbandingan *Voltage System* Sebelum dan Sesudah Pemasangan Kapasitor pada Sistem Penyulang Mulyosari 68 Bus



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukmawidjaja Maula, 2008, “Perhitungan Profil Tegangan pada Sistem Distribusi Menggunakan Matrix Admitansi dan Matrix Impedansi Bus”, Jurusan Teknil Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta.
- [2] Mesut E Baran, Felix F Wu,” *Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing*”, IEEE Transaction On Power Delivery, Vol. 4, No. 2, April 1989
- [3] Kundur, P. “*Voltage Stability, Power System stability and control*”. 959-1019.1994.
- [4] Venkataramana, A. “*Power Computational Techniques for Voltage Stability Assessment and Control (1th)*”.2007.
- [5] Mohamed M. Aly, Mamdouh Abdel-Akher,A, “*Continous Power-Flow for Distribution System Voltage Stability Analysis*”, IEEE 2012
- [6] M S Dinesh, Dr. A.K. Singh “*Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks*”
- [7] Tapan Kumar Chattopadhyay, Sumit Banerjee, Chandan Kuma Chanda “*Impact of Shunt Capacitor on Voltage Stability Analysis of Distribution Networks under Critical Loading Conditions*”



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari simulasi dan analisa data yang diperoleh pada tugas akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Analisa dari kestabilan tegangan pada jaringan distribusi radial satu fasa bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas dari tiap bus terhadap perubahan beban.
2. Metode *Voltage Stability Index* (VSI) dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks dari tiap bus pada sistem jaringan distribusi radial.
3. Dengan menggunakan kapasitor yang pemasangannya efektif berdasarkan nilai indeks yang diperoleh dari metode *Voltage Stability Index* (VSI) dapat meningkatkan level tegangan pada suatu sistem jaringan distribusi radial satu fasa.
4. Pada sistem data jaringan distribusi IEEE 33 bus didapatkan nilai indeks terendah pada bus 18 sebesar 0,4245 dan untuk sistem data jaringan disrtibusi pada penyulang Mulyosari 68 bus didapatkan nilai indeks terendah pada bus 63 sebesar 0,617.
5. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18 (IEEE 33 bus) level tegangan pada bus 18 meningkat hingga 0,9554 pu dengan nilai drop tegangan 4,461%, tapi tidak semua seluruh sistem mengalami kenaikan hingga $\geq 0,95$ pu maka perlu dilakukan analisis kestabilan setelah pemasangan kapasitor pada bus 18 dan didapatkan nilai indeks terendah selanjutnya terletak pada bus 33
6. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada bus 18 dan 33 (IEEE 33 bus) level tegangan pada seluruh bus mengalami kenaikan hingga $\geq 0,95$ pu dimana tegangan terendah sebesar 0,9501 pada bus 29 dengan nilai drop tegangan 4,994%.
7. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang Mulyosari di bus 63, level tegangan pada seluruh bus mengalami peningkatan hingga 0,9524 dimana tegangan terendah berada pada bus 59 sebesar 0,9503 pu dengan drop tegangan sebesar 4,916 %
8. Pada sistem jaringan distribusi radial drop tegangan dipengaruhi dari kapasitas beban. Semakin tinggi kapasitas beban yang harus

dilayani maka semakin besar arus saluran yang mengalir sehingga drop tegangan menjadi besar. Jika nilai dari drop tegangan di bus pada sistem jaringan distribusi semakin besar maka nilai indeks kestabilan pada bus tersebut semakin kecil yang menunjukkan bahwa bus tersebut adalah bus yang terlemah atau bus yang paling kritis.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Metode *Voltage Stability Index* (VSI) dapat digunakan untuk monitoring sistem jaringan distribusi radial untuk menjaga tingkat kestabilan tegangan.
2. Pada analisa kestabilan tegangan tegangan untuk selanjutnya dapat dikembangkan dengan adanya pemasangan tranformator pada jaringan distribusi radial.
3. Untuk penempatan pemasangan kapasitor secara optimal dapat dipelajari lebih lanjut dengan menggunakan metode yang lainnya.

LAMPIRAN

I. Hasil Running Program

- a. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa IEEE 33 Bus
Sebelum Pemasangan Kapasitor

Maximum Power Mismatch = 3.53814e-009

No. of Iterations = 11

Bus No.	Voltage (p.u)	VSI (p.u)	Drop Voltage %	Voltage Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	12.660
2	0.9936	0.974	0.640	12.579
3	0.9631	0.860	3.691	12.193
4	0.9466	0.803	5.336	11.984
5	0.9303	0.748	6.973	11.777
6	0.8897	0.626	11.032	11.263
7	0.8820	0.605	11.804	11.166
8	0.8712	0.576	12.876	11.030
9	0.8572	0.540	14.278	10.852
10	0.8442	0.508	15.576	10.688
11	0.8423	0.503	15.769	10.664
12	0.8390	0.495	16.105	10.621
13	0.8252	0.463	17.483	10.447
14	0.8200	0.452	17.997	10.382
15	0.8168	0.444	18.318	10.341
16	0.8137	0.438	18.628	10.302
17	0.8091	0.427	19.092	10.243
18	0.8077	0.424	19.229	10.226
19	0.9925	0.972	0.746	12.566
20	0.9853	0.943	1.468	12.474
21	0.9839	0.937	1.611	12.456
22	0.9826	0.932	1.740	12.440
23	0.9557	0.834	4.433	12.099
24	0.9419	0.787	5.813	11.924
25	0.9350	0.764	6.503	11.837
26	0.8854	0.614	11.463	11.209
27	0.8796	0.598	12.037	11.136
28	0.8541	0.531	14.595	10.812
29	0.8356	0.487	16.435	10.579
30	0.8276	0.468	17.238	10.478
31	0.8183	0.448	18.167	10.360
32	0.8163	0.443	18.372	10.334
33	0.8157	0.442	18.435	10.326

b. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa IEEE 33 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 18

Maximum Power Mismatch = 6.63282e-009

No. of Iterations = 10

Bus	Voltage		VSI		Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)		(p.u)		%	Magnitd
1	1.0000		1.000		0.000	12.660
2	0.9950		0.980		0.502	12.597
3	0.9719		0.892		2.815	12.304
4	0.9608		0.851		3.917	12.164
5	0.9501		0.813		4.991	12.028
6	0.9219		0.720		7.814	11.671
7	0.9168		0.704		8.316	11.607
8	0.9160		0.700		8.403	11.596
9	0.9160		0.698		8.400	11.597
10	0.9171		0.698		8.290	11.611
11	0.9178		0.700		8.216	11.620
12	0.9195		0.704		8.047	11.641
13	0.9251		0.714		7.486	11.712
14	0.9269		0.715		7.309	11.735
15	0.9312		0.724		6.885	11.788
16	0.9374		0.738		6.257	11.868
17	0.9479		0.752		5.208	12.001
18	0.9554		0.767		4.461	12.095
19	0.9939		0.976		0.608	12.583
20	0.9867		0.948		1.329	12.492
21	0.9853		0.942		1.471	12.474
22	0.9840		0.937		1.599	12.458
23	0.9645		0.865		3.549	12.211
24	0.9508		0.817		4.915	12.038
25	0.9440		0.794		5.598	11.951
26	0.9177		0.706		8.229	11.618
27	0.9122		0.689		8.783	11.548
28	0.8876		0.617		11.241	11.237
29	0.8699		0.569		13.010	11.013
30	0.8621		0.548		13.786	10.915
31	0.8533		0.526		14.671	10.803
32	0.8513		0.522		14.865	10.778
33	0.8507		0.520		14.925	10.770

- c. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa IEEE 33 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 18 dan bus 33

Maximum Power Mismatch = $3.34571e-009$
No. of Iterations = 9

Bus No.	Voltage (p.u.)	VSI (p.u.)	Drop Voltage %	Voltage Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	12.660
2	0.9967	0.987	0.334	12.618
3	0.9825	0.931	1.750	12.438
4	0.9781	0.913	2.194	12.382
5	0.9742	0.896	2.583	12.333
6	0.9607	0.840	3.925	12.163
7	0.9560	0.823	4.403	12.103
8	0.9551	0.818	4.493	12.091
9	0.9550	0.813	4.498	12.091
10	0.9560	0.811	4.402	12.103
11	0.9567	0.813	4.332	12.112
12	0.9583	0.817	4.173	12.132
13	0.9635	0.824	3.652	12.198
14	0.9651	0.823	3.492	12.218
15	0.9691	0.831	3.093	12.268
16	0.9750	0.844	2.501	12.343
17	0.9847	0.853	1.526	12.467
18	0.9918	0.867	0.820	12.556
19	0.9956	0.983	0.440	12.604
20	0.9884	0.954	1.159	12.513
21	0.9870	0.949	1.301	12.495
22	0.9857	0.944	1.429	12.479
23	0.9753	0.904	2.475	12.347
24	0.9618	0.855	3.824	12.176
25	0.9550	0.832	4.498	12.091
26	0.9602	0.837	3.981	12.156
27	0.9597	0.832	4.033	12.149
28	0.9537	0.799	4.630	12.074
29	0.9501	0.774	4.994	12.028
30	0.9511	0.769	4.889	12.041
31	0.9581	0.776	4.185	12.130
32	0.9610	0.778	3.897	12.167
33	0.9652	0.779	3.480	12.219

d. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa Penyulang Mulyosari 68 Bus
Sebelum Pemasangan Kapasitor

Maximum Power Mismatch = 2.12415e-009

No. of Iterations = 11

Bus	Voltage		VSI		Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)		(p.u)		%	Magnitd
1	1.0000		1.000		0.000	20.000
2	0.9852		0.941		1.477	19.705
3	0.9829		0.932		1.714	19.657
4	0.9814		0.926		1.862	19.628
5	0.9780		0.913		2.204	19.559
6	0.9740		0.898		2.596	19.481
7	0.9740		0.898		2.599	19.480
8	0.9740		0.898		2.598	19.480
9	0.9740		0.898		2.599	19.480
10	0.9693		0.880		3.074	19.385
11	0.9692		0.880		3.076	19.385
12	0.9692		0.880		3.076	19.385
13	0.9669		0.871		3.309	19.338
14	0.9561		0.830		4.387	19.123
15	0.9524		0.816		4.761	19.048
16	0.9491		0.804		5.086	18.983
17	0.9464		0.794		5.362	18.928
18	0.9464		0.794		5.363	18.927
19	0.9418		0.777		5.821	18.836
20	0.9381		0.764		6.188	18.762
21	0.9340		0.749		6.601	18.680
22	0.9309		0.738		6.910	18.618
23	0.9274		0.725		7.263	18.547
24	0.9271		0.724		7.288	18.542
25	0.9271		0.724		7.288	18.542
26	0.9271		0.724		7.292	18.542
27	0.9270		0.724		7.302	18.540
28	0.9269		0.724		7.309	18.538
29	0.9268		0.723		7.319	18.536
30	0.9268		0.723		7.323	18.535
31	0.9267		0.723		7.325	18.535
32	0.9267		0.723		7.326	18.535
33	0.9267		0.723		7.327	18.535
34	0.9268		0.723		7.324	18.535
35	0.9267		0.723		7.326	18.535
36	0.9267		0.723		7.327	18.535
37	0.9212		0.703		7.879	18.424
38	0.9212		0.703		7.879	18.424
39	0.9155		0.682		8.451	18.310

40	0.9155	0.682	8.452	18.310
41	0.9146	0.679	8.540	18.292
42	0.9147	0.680	8.530	18.294
43	0.9140	0.676	8.599	18.280
44	0.9123	0.669	8.774	18.245
45	0.9111	0.665	8.889	18.222
46	0.9105	0.663	8.947	18.211
47	0.9082	0.654	9.176	18.165
48	0.9082	0.654	9.177	18.165
49	0.9082	0.654	9.177	18.165
50	0.9054	0.642	9.460	18.108
51	0.9054	0.642	9.461	18.108
52	0.9012	0.626	9.880	18.024
53	0.9001	0.621	9.992	18.002
54	0.8998	0.620	10.019	17.996
55	0.8998	0.620	10.022	17.996
56	0.8998	0.620	10.023	17.995
57	0.8998	0.620	10.023	17.995
58	0.8990	0.617	10.099	17.980
59	0.8990	0.617	10.104	17.979
60	0.8989	0.617	10.106	17.979
61	0.8989	0.617	10.106	17.979
62	0.8989	0.617	10.106	17.979
63	0.8989	0.617	10.107	17.979
64	0.9273	0.727	7.269	18.546
65	0.9273	0.725	7.270	18.546
66	0.9273	0.725	7.270	18.546
67	0.9273	0.725	7.271	18.546
68	0.9273	0.725	7.271	18.546

- e. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa Penyulang Mulyosari 68 Bus Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 63

Maximum Power Mismatch = 9.52726e-009

No. of Iterations = 10

Bus	Voltage	VSI	Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)	(p.u)	%	Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	20.000
2	0.9916	0.966	0.836	19.833
3	0.9903	0.960	0.973	19.805
4	0.9894	0.957	1.056	19.789
5	0.9875	0.949	1.247	19.751
6	0.9853	0.939	1.466	19.707
7	0.9853	0.939	1.469	19.706
8	0.9853	0.939	1.468	19.706
9	0.9853	0.939	1.469	19.706

10	0.9827	0.928	1.728	19.654
11	0.9827	0.928	1.730	19.654
12	0.9827	0.928	1.730	19.654
13	0.9814	0.923	1.855	19.629
14	0.9756	0.897	2.438	19.512
15	0.9736	0.888	2.639	19.472
16	0.9719	0.880	2.813	19.437
17	0.9704	0.873	2.961	19.408
18	0.9704	0.873	2.961	19.408
19	0.9680	0.861	3.204	19.359
20	0.9660	0.852	3.399	19.320
21	0.9638	0.842	3.618	19.276
22	0.9622	0.834	3.777	19.245
23	0.9604	0.825	3.958	19.208
24	0.9602	0.824	3.982	19.204
25	0.9602	0.824	3.982	19.204
26	0.9601	0.824	3.986	19.203
27	0.9600	0.824	3.996	19.201
28	0.9600	0.823	4.003	19.199
29	0.9599	0.823	4.011	19.198
30	0.9598	0.823	4.016	19.197
31	0.9598	0.823	4.018	19.196
32	0.9598	0.823	4.019	19.196
33	0.9598	0.823	4.019	19.196
34	0.9598	0.823	4.017	19.197
35	0.9598	0.823	4.019	19.196
36	0.9598	0.823	4.019	19.196
37	0.9575	0.809	4.254	19.149
38	0.9575	0.809	4.254	19.149
39	0.9547	0.794	4.527	19.095
40	0.9547	0.794	4.528	19.094
41	0.9545	0.792	4.554	19.089
42	0.9540	0.792	4.602	19.080
43	0.9543	0.791	4.571	19.086
44	0.9538	0.786	4.622	19.076
45	0.9535	0.783	4.654	19.069
46	0.9533	0.781	4.670	19.066
47	0.9527	0.775	4.733	19.053
48	0.9527	0.775	4.734	19.053
49	0.9527	0.775	4.734	19.053
50	0.9519	0.768	4.810	19.038
51	0.9519	0.768	4.810	19.038
52	0.9508	0.756	4.918	19.016
53	0.9505	0.752	4.947	19.011
54	0.9505	0.751	4.954	19.009
55	0.9504	0.751	4.957	19.009
56	0.9504	0.751	4.958	19.008
57	0.9504	0.751	4.957	19.009
58	0.9503	0.749	4.972	19.006
59	0.9508	0.751	4.916	19.017

60	0.9508	0.750	4.918	19.016
61	0.9508	0.750	4.919	19.016
62	0.9518	0.753	4.819	19.036
63	0.9524	0.755	4.760	19.048
64	0.9604	0.825	3.964	19.207
65	0.9604	0.825	3.965	19.207
66	0.9604	0.825	3.965	19.207
67	0.9603	0.825	3.965	19.207
68	0.9603	0.825	3.966	19.207

- e. Sistem Distribusi Radial Satu Fasa Penyulang Mulyosari 68 Bus
Setelah Pemasangan Kapasitor pada bus 68

Maximum Power Mismatch = 8.91866e-009

No. of Iterations = 10

Bus	Voltage	VSI	Drop Voltage	Voltage
No.	(p.u)	(p.u)	%	Magnitd
1	1.0000	1.000	0.000	20.000
2	0.9950	0.979	0.500	19.900
3	0.9942	0.975	0.585	19.883
4	0.9937	0.973	0.634	19.873
5	0.9925	0.967	0.746	19.851
6	0.9913	0.961	0.874	19.825
7	0.9912	0.961	0.878	19.824
8	0.9912	0.961	0.877	19.825
9	0.9912	0.961	0.878	19.824
10	0.9898	0.954	1.024	19.795
11	0.9897	0.954	1.026	19.795
12	0.9897	0.954	1.026	19.795
13	0.9891	0.950	1.095	19.781
14	0.9858	0.932	1.418	19.716
15	0.9847	0.926	1.529	19.694
16	0.9838	0.920	1.624	19.675
17	0.9830	0.915	1.704	19.659
18	0.9830	0.915	1.704	19.659
19	0.9816	0.907	1.835	19.633
20	0.9806	0.900	1.940	19.612
21	0.9794	0.892	2.057	19.589
22	0.9786	0.886	2.138	19.572
23	0.9777	0.880	2.229	19.554
24	0.9775	0.879	2.252	19.550
25	0.9775	0.879	2.252	19.550
26	0.9774	0.879	2.256	19.549
27	0.9773	0.878	2.265	19.547
28	0.9773	0.878	2.272	19.546
29	0.9772	0.878	2.281	19.544

30	0.9772	0.878	2.285	19.543
31	0.9771	0.878	2.287	19.543
32	0.9771	0.878	2.288	19.542
33	0.9771	0.878	2.289	19.542
34	0.9771	0.878	2.286	19.543
35	0.9771	0.878	2.288	19.542
36	0.9771	0.878	2.289	19.542
37	0.9718	0.853	2.819	19.436
38	0.9718	0.854	2.820	19.436
39	0.9663	0.829	3.368	19.326
40	0.9663	0.830	3.369	19.326
41	0.9655	0.825	3.454	19.309
42	0.9656	0.827	3.442	19.312
43	0.9649	0.823	3.511	19.298
44	0.9632	0.814	3.680	19.264
45	0.9621	0.809	3.792	19.242
46	0.9615	0.806	3.847	19.231
47	0.9593	0.796	4.069	19.186
48	0.9593	0.796	4.070	19.186
49	0.9593	0.796	4.070	19.186
50	0.9566	0.782	4.344	19.131
51	0.9566	0.782	4.345	19.131
52	0.9525	0.762	4.750	19.050
53	0.9514	0.757	4.858	19.028
54	0.9512	0.756	4.885	19.023
55	0.9511	0.756	4.888	19.022
56	0.9511	0.756	4.889	19.022
57	0.9511	0.756	4.888	19.022
58	0.9504	0.752	4.963	19.007
59	0.9503	0.752	4.966	19.007
60	0.9503	0.752	4.968	19.006
61	0.9503	0.752	4.969	19.006
62	0.9503	0.752	4.969	19.006
63	0.9503	0.752	4.970	19.006
64	0.9814	0.893	1.864	19.627
65	0.9813	0.891	1.865	19.627
66	0.9835	0.898	1.649	19.670
67	0.9857	0.905	1.434	19.713
68	0.9894	0.917	1.065	19.787